

Memorandum

Ecologische aandachtspunten en ontwerpeisen voor vervangen en renoveren van stuwen in de Maas.



December 2021

Versie 2.1

Wendy Vercrujisse (NOV RWS ZN)

Siebre Wezenberg (NOV RWS ZN)

Bijdrages door:

Roy Frings (TEM RWS ZN)

Monique van Rossum (district RWS ZN)

Marjoke Muller (WVL RWS ZN)

Bert Bellert (WVL)

Frank Collas (NOV RWS ZN)

Inhoud

1.	INLEIDING.....	4
2.	PLASTIC EN VUILEN INVANG BIJ DE STUWEN.	6
2.1	BELANG ELEMENT.....	6
2.1.1	<i>Kennis over zwerfafval in de Maas</i>	7
2.1.2	<i>Initiatieven Rijkswaterstaat (buiten V&R) – mogelijke bron van informatie V&R traject</i>	7
2.2	ONTWERPEISEN EN ASPECTEN BELANGRIJK BIJ V&R STUWEN.....	8
2.2.1	<i>Monitoring incorporeren bij stuwen</i>	8
2.2.2	<i>Reserveren ruimte (toekomstige) afvang installaties..</i>	9
2.2.3	<i>Mobiele installaties</i>	10
2.2.4	<i>Vaste installaties</i>	12
2.3	ONZEKERHEDEN T.A.V. ELEMENT EN ECOLOGISCH ASPECTEN, MITIGATIE MOGELIJKHEDEN.....	12
2.4	BELANGRIJKSTE ONDERZOEKEN T.A.V. ELEMENT (BRUIKBAAR PLANFASE).	13
3	VISPASSEERBAARHEID STUWEN.....	14
3.1	BELANG ELEMENT.....	14
3.2	ONTWERPEISEN EN ASPECTEN BELANGRIJK BIJ V&R STUWEN.....	16
3.2.1	<i>Positionering van toekomstige vistrappen binnen het stuw-sluiv-strap complex</i>	16
3.2.2	<i>Installatie en optimalisatie bijpassende vistrappen</i>	16
3.2.3	<i>Afzonderlijk bestuurbare onderdelen voor optimale lokstroom condities</i>	17
3.2.4	<i>Dimensioneren toekomstige woelbakken (indien overstortende stuw).</i>	18
3.2.5	<i>Vorm van de overlaat</i>	19
3.2.6	<i>Aanleggen van toekomstige telemetrie data</i>	21
3.3	ONZEKERHEDEN T.A.V. ECOLOGISCH ASPECT, MITIGATIE MOGELIJKHEDEN.....	22
3.4	BELANGRIJKE ONDERZOEKEN T.A.V. ELEMENT (BRUIKBAAR PLANFASE).....	22
4	AANLEG STROMEND HABITAT NABIJ STUWEN	23
4.1	BELANG ELEMENT	23
4.2	ONTWERPEISEN EN ASPECTEN.....	23
4.2.1	<i>Stuwpasserende nevengeulen</i>	23
4.2.2	<i>Stuwgeul</i>	27
4.3	ONZEKERHEDEN T.A.V. ELEMENT EN ECOLOGISCH ASPECTEN, MITIGATIE MOGELIJKHEDEN.....	29
4.4	BELANGRIJKE ONDERZOEKEN T.A.V. ECOLOGISCH ASPECT (BRUIKBAAR PLANFASE).	30
5	PEILVERLAGING EN NATUURLIJKE PEILVARIATIES.....	31
5.1	BELANG ELEMENT.....	31
5.2	ONTWERPEISEN EN ASPECTEN BELANGRIJK BIJ V&R STUWEN.....	32
5.2.1	<i>Dynamisch stuwbeheer</i>	32
5.2.2	<i>Lager streefpeil</i>	34
5.2.3	<i>Opvangen onnatuurlijke afvoerfluctuaties</i>	36
5.3	ONZEKERHEDEN T.A.V. ELEMENT EN ECOLOGISCH ASPECTEN, MITIGATIE MOGELIJKHEDEN.....	37
5.4	BELANGRIJKE ONDERZOEKEN T.A.V. ECOLOGISCH ASPECT (BRUIKBAAR PLANFASE).	38
6	SEDIMENTDYNAMIEK STUWEN.	39
6.1	BELANG ELEMENT.....	39
6.2	ONTWERPEISEN EN ASPECTEN BELANGRIJK BIJ V&R STUWEN.....	39
6.3	ONZEKERHEDEN T.A.V. ELEMENT EN ECOLOGISCH ASPECTEN, MITIGATIE MOGELIJKHEDEN.....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
6.4	BELANGRIJKE ONDERZOEKEN T.A.V. ECOLOGISCH ASPECT (BRUIKBAAR PLANFASE).	40
7.	HET STUWDAM CONCEPT.....	41

7.1 DE WERKING VAN HET CONCEPT	41
7.2 HYDROLOGISCHE ASPECTEN	41
7.3 EFFECT OP ECOLOGISCHE ASPECTEN	42
7.4 OVERIGE EFFECTEN	42
7.5 RESTERENDE ONDERZOEKSVRAGEN	43
8. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.	44
8.1 INTERACTIE TUSSEN MAATREGELS	44
8.2 MONITORING:	44
8.3 RUIMTELIJKE RESERVERING	45
8.4 ONTWERP STUW	46
8.4.1 <i>Opererend systeem</i>	46
8.4.2 <i>Vorm van het ontwerp</i>	46
8.4.3 <i>Ontwerp van vaardieptes en vaardrempel</i>	47
8.5 BEHEER EN ONDERHOUD:	47
8.6 BENODIGDE VERKENNINGEN EN ONDERZOEKEN	49
9. REFERENTIES	50

1. Inleiding

Deze memo is opgesteld om ontwerpeisen en ecologische (rand)voorwaarden te formuleren die kunnen worden ingebracht in het vervanging en renovatie (V&R) proces van de stuwen. Dit proces staat momenteel in de start fase staat en zal de komende jaren verder worden uitgerold binnen regio Zuid Nederland van Rijkswaterstaat (RWS ZN). Deze memo geeft een beschrijving van de verschillende ecologische aspecten die direct en indirect verbonden zijn aan het ontwerp (proces) van de verschillende stuwen in de Maas. Tevens wordt er aangegeven waar er met de keuzes voor een type stuw en de omgeving van een stuw, consequenties verbonden zijn aan het ecologische systeem van de Maas.

De ecologische aspecten die van belang zijn bij stuwen zijn:

Plastic en vuil invang bij de stuwen;
Vispasseerbaarheid van de stuwen;
Aanleg stromend habitat nabij stuwen,
Peilopzet en (natuurlijke) variaties in stuwpeil;
Sedimentdynamiek

Er zal bij het ontwerpproces en hiermee gepaard gaande selectie van technieken nagedacht moeten worden over de ecologische aspecten. De ecologische aspecten die verbonden zijn aan een stuw, leiden tot ontwerpeisen.



Per ecologisch aspect zal kort stil gestaan worden bij:

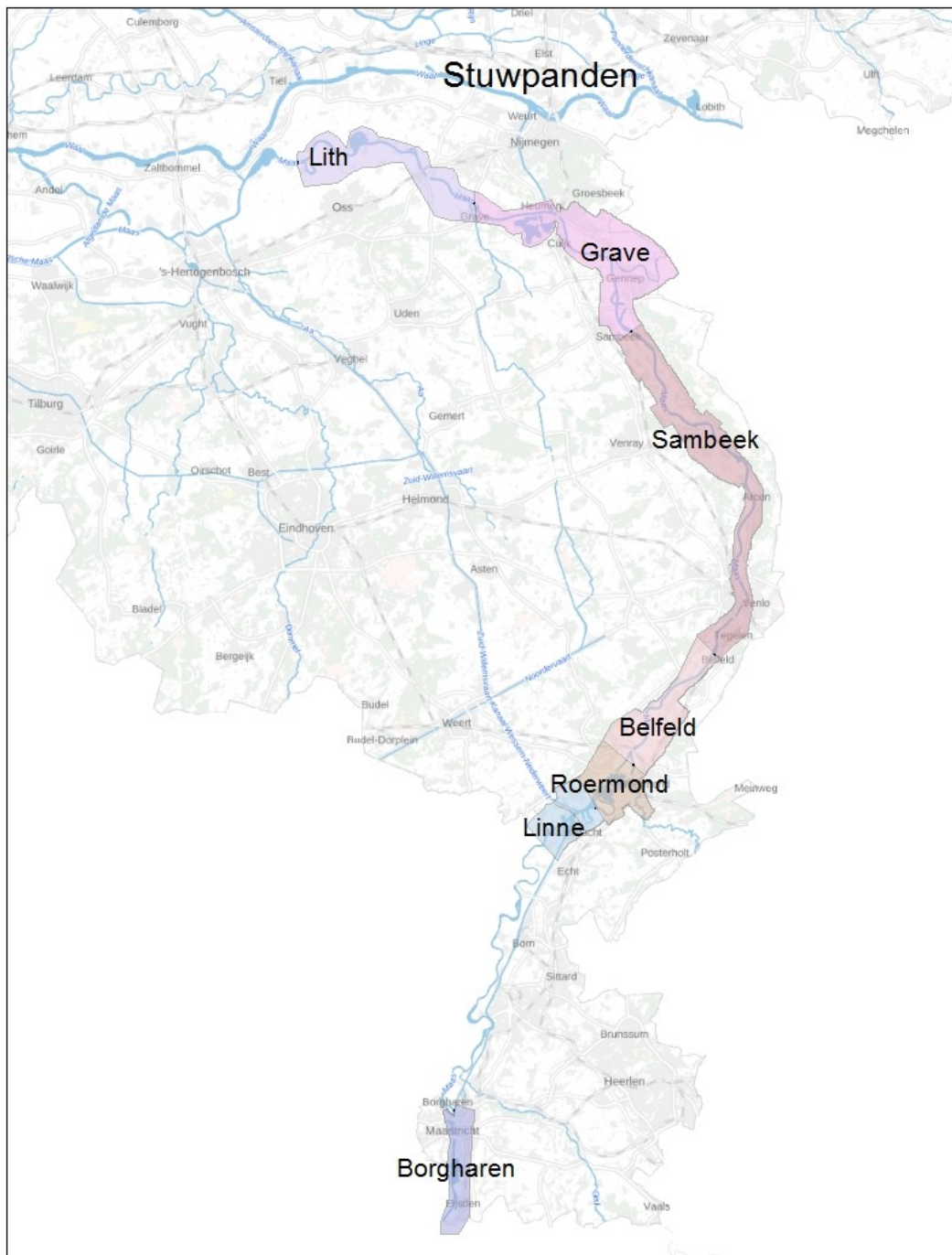
Het ecologische belang;
Hoe de huidige kennis en beschikbare informatie gebruikt kan worden t.a.v. ontwerpeisen;
Welke onzekerheden er zijn t.a.v. het formuleren van ontwerpeisen.
De onderzoeksvragen die voor de planfase van het V&R proces¹ van belang zijn.

Aan het eind van deze memo worden de ontwerpeisen t.a.v. de verschillende ecologische aspecten samengebracht. Hieruit volgen aanbevelingen voor het ontwerpproces van V&R over het type stuw, functionele randvoorwaarden en ruimtelijke reserveringen in de omgeving. Er zal in deze formulering ook kort stilgestaan worden bij de (verschillende) onzekerheden t.a.v. de ontwerpeisen en waar er nog een zekere aanleiding is, dan wel noodzaak, tot (vervolg) onderzoek. In deze aanbeveling wordt getracht een realistische aanbeveling te geven over de benodigde kennisontwikkeling².

¹ De planfase is de fase van het ontwerp proces waarbinnen verdere uitwerking van de verschillende stuw alternatieven plaatsvinden. Het ontwerp proces begint met het kiezen van het "type stuw". De planfase geeft verder invulling aan het technische ontwerp, de omliggende omgeving en inrichting van het stuwcomplex. De planfase duurt ongeveer 3 jaar en kan vergeleken worden met de planuitwerkingsfase die in MIRT projecten plaatsvindt. Het is de fase alvorens de realisatie van de stuw plaatsvindt.

² De auteurs van de memo snappen dat er veel zaken zijn die momenteel nog niet uitgezocht of onderzocht zijn, en niet alle (ecologische) vervolgvragen passen binnen de planfase van het ontwerp proces. Toch wordt er een dringend advies gedaan om een aantal zaken uit te zoeken alvorens een definitief ontwerp wordt geformuleerd. Dit gezien de lange periode (100 jaar) waarvoor de stuwen gebouwd zullen worden.

Naast de vijf ecologische aspecten is in deze memo ook aandacht voor het concept van een 'stuwdam'. Een stuwdam zal effect hebben op de ecologische aspecten en is met name bedoeld om het stromend habitat en de vispasseerbaarheid te verbeteren. Aangezien deze systeemmaatregel meerdere ecologische aspecten beïnvloed is er een separaat hoofdstuk aan gewijd. Ook 'nevengeulen 2.0' is een veelbesproken concept waarbij het van belang is dat het concept goed uitgelegd wordt om het vervolgens gedegen in ogenschouw te kunnen nemen in het V&R proces. De maatregel is voornamelijk bedoeld ten behoeve van het creëren van extra stromend habitat en is daarom ondergebracht in hoofdstuk 3 (aanleg stromend habitat nabij stuwen).

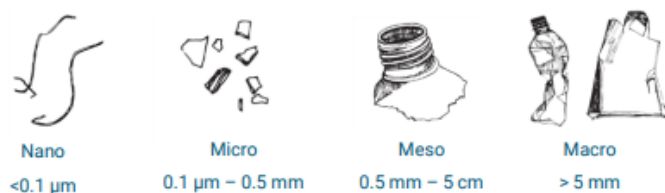


Figuur 1 Stuwpannen in de Maas

2. Plastic en vuil invang bij de stuwen.

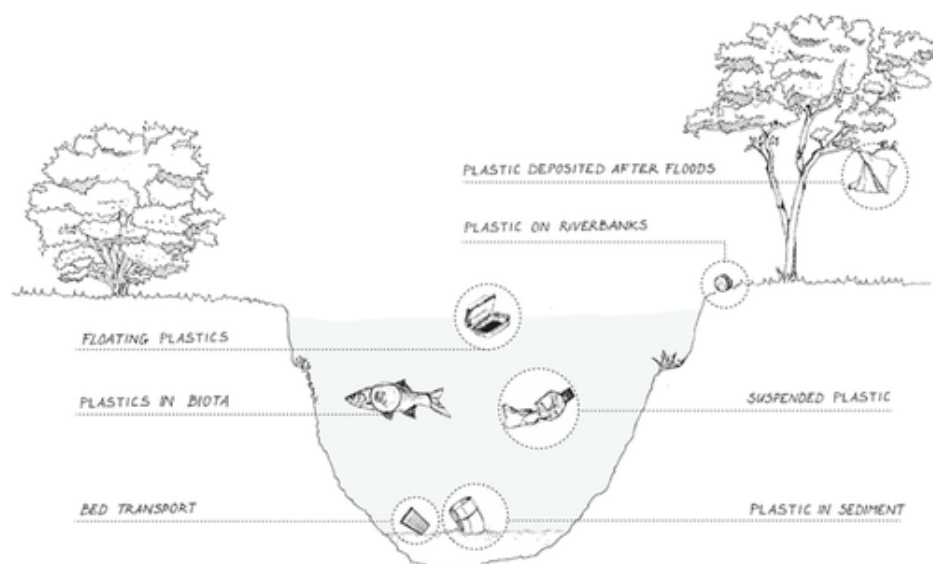
2.1 Belang element.

Zwerfafval in en rondom rivieren heeft een negatieve impact op mens en milieu. Stukken afval, zoals plastics, worden teruggevonden in de ingewanden van vogels, vissen, en andere aquatische diersoorten. Het zijn vooral de grotere stukken zwerfafval die schade aan scheepvaart en water gerelateerde infrastructuur (verstoppingen in sluizen, pompen) veroorzaken. Nadat plastic onderdelen (macroplastics) in de rivier terecht komen, vergaan deze nauwelijks en vallen uiteen in steeds kleinere fracties (meso-, micro- en nanodeeltjes; van Emmerik et al., 2019).



Figuur 2: Bron van Emmerik, T., & Schwarz, A. (2020). Grootte van plastics in de rivieren.

Deze fragmentatie leidt tot steeds kleinere deeltjes die lastig te detecteren zijn. Met name de micro- en nano plastics zijn nauwelijks nog uit het water - en bodemsysteem van rivieren als de Maas op te ruimen. Een klein deel hiervan stroomt naar zee waar het een groeiend probleem genaamd de 'plastic soep' voedt. Het meeste plastic blijft in de rivier of accumuleert in het sediment, op de oevers of in biota (Van Emmerik, 2021, Schwarz et al., 2019). Onderzoek naar gevolgen van microplastics op riviernatuur is schaars (Horton et al., 2017) maar er zijn wel aanwijzingen dat het de ademhaling, beweging of voedselopname van waterorganismen beperkt en dat de binding van microplastics aan algen een negatief effect heeft op algengroei. (RIVM, 2019).



Figuur 3: plastic afval in rivieren (Emmerik et al., 2019)

Voor dit probleem is natuurlijk aanpakken bij de bron, voorkomen dat plastic in de rivier terecht komt, de meest voor de hand liggende en belangrijkste oplossing. Helaas blijkt er nog steeds veel plastic in de Maas terecht te komen. Geschat wordt dat er gemiddeld 100-3000 macroplastics per uur door de Maas gaan. De waarden verschillen voor drie trajecten in de Maas waar metingen plaats vonden

(Moerdijk, Ravenstein en Maastricht). De getallen die hier worden weergegeven zijn wel gebaseerd op niet vrij gegeven onderzoek van Tim Emmerik (presentatie 7^{de} internationale Maas symposium 2021).

In onderzoek van Deltares (2013) wordt gesuggereerd dat een groot deel van de drijvende macroplastics afkomstig is uit België en het aandeel plastics afneemt tot de Biesbosch. Benedenstreams van (het sluiscomplex) Sambeek is nog een kleine hoeveelheid drijvend zwerfvuil aanwezig (Van der Wal M. et al., 2013). Echter er zijn ook aanwijzingen dat juist benedenstreams het meeste plastic zich bevindt (Van Emmerik, 2021). Een deel van het afval wordt tussentijds verwijderd door opruimacties, valt uiteen in kleinere fracties en/of accumuleert op de Maas oevers. Uit expert opinie, en rondgaand beeldmateriaal blijkt dat met name bij extreem hoogwater er ontzettend veel materiaal door de Maas gaat, en wordt afgezet op de oevers.



2.1.1 Kennis over zwerfafval in de Maas

Er is nog relatief weinig bekend over de herkomst, samenstelling en transportmechanismen van zwerfafval in de Maas. Wel zijn er verschillende (vrijwilligers)initiatieven om zwerfafval te monitoren en op te ruimen opgezet, maar een eenduidige werkwijze en monitoringsmethode ontbreekt nog. Dit geldt ook voor coherente en uitgebreide zwerfafval-datasets waarin monitoring plaatsvindt over opeenvolgende jaren.

Voor het optimaliseren van maatregelen ter preventie, mitigatie en verwijdering van zwerfafval in Nederlandse rivieren is het van cruciaal belang om over structurele data, informatie en inzichten te beschikken. Momenteel is er onvoldoende data over de verspreiding van plastic in de Maas om de potentie voor een vuilvanginstallatie per stuwcomplex goed in te schatten.

2.1.2 Initiatieven Rijkswaterstaat (buiten V&R) – mogelijke bron van informatie V&R traject

Rijkswaterstaat, en andere omgevingspartijen houden zich al langere tijd bezig met rivier plastics. Rijkswaterstaat voert momenteel de beleidsopdracht '[Intensivering aanpak \(plastic\) zwerfafval in rivieren](#)' uit. In dit programma wordt gekeken naar de plekken waar zwerfafval zich ophoopt (hotspots) en worden methoden onderzocht om zwerfafval uit het water te halen. Op meerdere locaties in Rijkswateren worden pilots met vangsystemen uitgevoerd.

Deze beleidsopdracht maakt onderdeel uit van het beleidsprogramma microplastics. De beleidsopdracht richt zich op drie pijlers:

- opruimen en verwerken,
- bronaanpak en
- monitoring microplastics.

Daarnaast is Rijkswaterstaat betrokken bij het [Interreg V-A-project LIVES](#), waarin vanuit Euregionale samenwerking wordt gekeken naar de problematiek, mogelijkheden voor monitoring en oplossingen om het afval in stroomgebied van de Maas terug te dringen. Het bredere doel is om de Maas in drie jaar 50% schoner te hebben. Het LIVES project onderzoekt de zwerfafval situatie door middel van 3 werkpakketten:

- WP1: Maasbrede monitoring van zwerf afval;

- WP2: installeren van 5-tal afvang installaties;
- WP3 creëren van (internationale)beleidsopties.

De pilot projecten, maar ook andere delen van het LIVES project worden uitgerold vanaf Borgharen tot en met het stuw en sluiscomplex Roermond. WP1 en WP2 zijn nog gaande, er zijn nu geen duidelijke ontwerpeisen uit af te leiden. Als onderdeel van WP1 is er onlangs [een pilot](#) gedaan met een bemonsteringstechniek. Ontwerpeisen en aspecten belangrijk bij V&R stuwen.

De aanpak van problematiek van zwerfafval bij kunstwerken met name Stuw/sluiscomplexen zouden een logische en kosten efficiënte bijdrage kunnen leveren aan de monitoring en de invang van drijvend zwerfvuil. Daarnaast hoopt (drijvend) zwerfafval zich vaak op rondom deze kunstwerken, waardoor de kustwerken mogelijke 'hotspots' voor zwerfafval zijn.

2.2 Ontwerpeisen en aspecten belangrijk bij V&R stuwen.

2.2.1 Monitoring incorporeren bij stuwen

Zoals uit de eerdere informatie is gebleken zijn er veel vraagstukken t.a.v. plastics in de rivier. Een kort monitoringsonderzoek zal nodig zijn om de potentie voor plastic invang bij stuwcomplexen te verduidelijken. Hier wordt op ingegaan in het subhoofdstuk 'Onzekerheden..'. Daarnaast kan monitoring een integraal onderdeel worden van een stuwcomplex voor een continue en vaste monitoringstrategie.

Momenteel vindt de monitoring van plastic op verschillende manieren plaatsvindt. Veelal gebeurt de monitoring op basis van visuele inspecties (handmatige tellingen door vrijwilligers), dan wel gecombineerd met de inzet van statische netten die de water kolom bemonsteren (van Emmerik, 2018). De eerst genoemde methode, visuele tellingen, biedt een mogelijkheid voor het V&R proces van de stuwen. De tellingen vinden voornamelijk plaats vanaf hoog gelegen plaatsen zoals bruggen, op bepaalde data in de maand. De stuwen zouden de mogelijkheid kunnen bieden om een of twee camera's te installeren die een hoge resolutie video opname van het water in de Maas geven, zodat er tellingen gemaakt kunnen worden van de drijvende afval stromen die zich in de Maas begeven. Dit vereist wel dat de camera's een goed beeld geven van het grootste gedeelte van de doorsnede van de Maas, het liefst vanuit een hoger gelegen, overzichtelijke positie.

Uit een analyse van de beelden kan de stroom aan drijvend afval inzichtelijk worden gemaakt. In recent onderzoek wordt gewerkt aan beeldherkenning van drijvende plastic stromen (Geraeds, 2019) en de verwachting is dat deze techniek binnen 10 jaar voldoende gevorderd is. Met beeldherkenning kan kostenefficiënt (minder arbeidsintensief) en gestructureerd de afvalstroom worden geanalyseerd.

De visuele monitoring strategie, hier toegelicht, richt zich alleen op macro- en mesoplastic dat zich in de bovenste laag van de waterkolom bevindt. Er zijn ook monitoringstechnieken mogelijk die zwerfvuil in de overige delen van de waterkolom meten. Het verkrijgen van data m.b.t. plastics in de water kolom gebeurt veelal d.m.v. gebruik van netten (statische bevestigde netten). Dit heeft echter een aantal nadelen. In grotere rivieren kunnen de netten niet over de volledige water kolom (diepte en breedte) bevestigd worden, deze methode is arbeidsintensief en benodigd een vaste verankering. Het monitoren van de gehele waterkolom is ook mogelijk d.m.v. het gebruik van sonar technologie. Sonar is een voorbeeld van een beschikbare techniek waarbij ook de vorm (maat) van het object binnen de water kolom wordt gemeten (Boere, 020). Beperking van de sonar methoden is wel dat bij zeer turbulent water (veel luchtbellen bijvoorbeeld) of een te hoge stroomsnelheid (> 0.5 m/s) de methode

niet meer goed functioneert. (ongepubliceerde data verzameld tijdens proeven op de Waal met side scan en didson camera, F. Collas 2021).

Samenvatting

Het V&R proces is de aangewezen plek om na te denken over de mogelijk tot monitoring van plastics. Veel is nog onbekend, en de mogelijkheid om per stuwband de plastic stroom te analyseren lijkt een no-regret mogelijkheid binnen het V&R proces. Beeld analyse van genomen video's zou kunnen uitwijzen hoe de plastic stroom zich over het Nederlandse gedeelte ontwikkeld (achterblijven van plastics in de stuwbanden, nieuwe influx etc) en waar en op welke tijdstippen dit aangepakt moet worden.

Ontwerpeisen

Het is aanbevolen dat V&R bij de verschillende stuwen in het ontwerpproces rekening houdt met de aanleg van camera's (mogelijk twee), die met een hoge resolutie, de doorstroom van drijvend oppervlakte plastic kunnen filmen. Dit gezien het feit dat de beelden geanalyseerd kunnen worden (handmatig of d.m.v. automatische beeldherkenning). De camera's zouden mogelijk bovenop de besturingspost geplaatst kunnen worden, of op de hoger gelegen delen van de stuw, waar scheepvaart geen last heeft van de geplaatste (hoger gelegen camera's).

De toepasselijkheid van sonar techniek voor het monitoren van plastic vergt meer onderzoek alvorens deze techniek kan worden ingebouwd in een stuwcomplex.

2.2.2 Reserveren ruimte (toekomstige) afvang installaties..

Bepaalde stuwcomplexen (inclusief omliggende locatie van de sluis/sluizen) lijken geschikter en beter gesitueerd voor de invang van zwerfafval dan anderen. Dit door de opmaak van het stuwcomplex, de directe omgeving en ligging t.a.v. de gehele Maas.

Zoals eerder benoemd in de studie van Deltares (2013) komt een deel van het afval in de Nederlandse Maas via bovenstroomse aanvoer vanuit Eijsden Nederland binnen. De absolute hoeveelheden afval (en de transformatie van de hoeveelheden bij een veranderend debiet) staan nog ter discussie. Het stuwcomplex Borgharen is het eerste Nederlandse stuwcomplex na het binnenstromen van de Maas bij Eijsden. Dit maakt het een logische locatie voor de invang en monitoring van zwerfvuil, afkomstig uit het buitenland en toegevoegd op het maastraject Eijsden-Maastricht.

Er lijkt ook een deel van het afval afkomstig van recreatie activiteiten in de Maasplassen (RWS intern 2021). Een invanginstallatie bij Linne en/of Roermond zou daarom ook veel kunnen bijdragen aan het verwijderen van zwerfafval uit de rivier. Echter is er meer kennis nodig over de precieze zwerfvuil stromen op deze locaties om ze doelmatig als potentiële afvang locatie aan te wijzen. Mogelijk kan een invanginstallatie op deze plek ook bijdragen aan het toestaan van rivierhout in de Grensmaas. Momenteel moet rivierhout daar worden verankerd omdat het anders bij de stuw kan verzamelen en schade kan aanrichten (naast veiligheid voor recreatievaart). Deze optie vergt verder onderzoek. (van Rossum M., 2021)

Uit gesprekken met expert (Bert Bellert – WVL, circulaire economie) blijkt dat de huidige stuwen die gecombineerd zijn met waterkrachtcentrales (WKC's): Linne en Lith, kansrijk worden gezien voor mogelijk invang en monitoring van zwerfvuil. Het afval wordt hier namelijk vanwege economische redenen al afgevangen voordat het door de WKC stroomt (RWS intern, 2021). Indien er voor wordt

gekozen om een combinatie van stuw, sluis en WKC aan te leggen, zal deze optie verkend moeten worden.

Momenteel loopt er een pilot vangstelsysteem voor plastic afval bij de sluis van stuw Borgharen. (RWS, 2021). Deze pilot is een samenwerking van RWS met Noria, een start-up die zich richt op de ontwikkeling van innovatieve methodes en technieken om het plasticafvalprobleem aan te pakken. Er is een systeem getest waarmee plastic uit het water kan worden gehaald. Dit gebeurde met een prototype 'plasticafvalscheprad'. (RWS 2021). De resultaten van deze proef zijn ook beschikbaar op de RWS website (Noria i.o.v. RWS, 2020).



Figuur 4 Afvalscheprad dat getest wordt bij de sluis in Borgharen (2020).

Er zijn voor zover bij ons bekend nog geen afvang systemen beschikbaar die inzetbaar zijn in de directe nabijheid van een stuw. Vooral nog zijn er voornamelijk pilots gedaan met mobiele invanginstallaties. Bij het toekomstige ontwerp van de nieuwe stuwen, is er echter de mogelijkheid om zowel gebruik te maken van mobiele afvang installaties en / of van afvang installaties die verankerd zijn aan de stuw.

Een nadeel is dat bij echt hoogwater, zoals afgelopen zomer gebeurde, het afvangen van drijfvuil vrijwel onmogelijk is vanwege de enorme opstuwende werking. Zodra je bij deze stroomsnelheden je afvangmechanisme al maar een paar millimeter onder het wateroppervlak houdt, spoelt het door de enorme druk weg (van Aubel P., 2021)

Een ander risico van afvang installaties is dat niet alleen plastic wordt afgevangen. Waarschijnlijk wordt hiermee ook organisch materiaal (takken/bladeren) verwijderd waardoor het riviersysteem ecologisch gezien nog verder verarmd. In de afweging voor een vangstelsysteem zal dit moeten worden meegenomen en zo goed als mogelijk voor een systeem worden gekozen dat selectief is in het vangen van meso- en macroplastics.

2.2.3 Mobiele installaties

Mobiele afvang installaties zullen op reguliere basis geleegd moeten worden (dagelijks), of het afval zal naar de oever / rivierbank getransporteerd moeten worden waar tijdelijk opslag plaats kan vinden. De meeste afvang technieken en installaties zijn gericht op het concentreren van het afval naar het midden of zijkant van een water, waar de installatie het afval afvangt. Bij de stuwcomplexen lijkt het afvangen van (drijvend) plastic het meest logisch aan de zijkant van het stuwcomplex, waar er een mogelijkheid voor het plaatsen van toekomstige (pilot) installaties wenselijk is. Dit in combinatie met

beschikbare ruimte voor het opslaan van het afgevangen afval, bijvoorbeeld door middel van een zee container of andere vorm van een grote bak die met vaste intervallen geleegd kan worden door een aannemer.

Er wordt intern en extern (in opdracht van) RWS nog gezocht naar de beste optie(s) qua invang installaties. Dit komt doordat er geen gouden standaard bestaat qua afvang systemen. Veel van de systemen zijn prototypes en nog in ontwikkeling, waarbij het systeem eerst voor een bepaalde periode langs een watergang wordt gelegd. De Maas is een regen rivier met sterk wisselende afvoeren. De Maas kan in een relatief kleine periode (enkele dagen) enkele honderden tot duizenden kubieke meters verschil in afvoer tonen. Dit maakt dat in de Maas gekozen zal moeten worden voor een afvang installatie die qua bevestiging grote krachten kan weerstaan of mogelijk naar de zijkant van, of zelfs uit de rivier kan worden getransporteerd binnen een korte periode. Dit zodat de afvang installatie niet beschadigd kan worden door drijvend debris, of een obstakel vormt voor de scheepvaart indien de stuwen getrokken worden en de sluisen opengezet (>1500 m³/s).

Gezien er vele afvang installaties zijn en verschillende wijze om het afval uit de installatie te verwijderen lijken er nog geen directe ontwerpeisen te zijn die meegegeven kunnen worden aan het ontwerp proces. De enige pointers die er zijn is dat het gunstig zou zijn om aan de zijkant van het stuw complex ruimte over te houden voor bevestiging van een afvang installatie, met een mogelijkheid voor afval opslag op de oever. De bevestiging zou aan de oever wand kunnen zijn of door middel van bevestiging van touwen/palen die in de nabijheid van de oever staan. De specifieke ruimte die benodigd is aan de zijkant van de oever hangt af van de grootte van de geïnstalleerde installatie. Gezien hier nog geen maatgevende dimensies zijn voor de afvang installaties is het niet duidelijk hoeveel meter er precies vrijgegeven zal moeten worden. Bij inschatting zou het gaan om circa 10 meter, kijkende naar de huidige prototypes, zie hiervoor figuur 5, beneden staand.



Figuur 5 Verschillende afvang installaties die momenteel op de markt zitten.

Voor specifieke ontwerpeisen voor mobiele vuilvang – en monitoringsinstallatie bij stuwen is diepgaandere informatie nodig. Het LIVES INTERREG wordt alvorens 2021 afgerond. Werkpakket 2 (zie eerdere informatie) kan tegen deze tijd mogelijk bijdragen aan de informatie voorziening t.a.v.

mobiele afvang installaties. Dit is door het LIVES project onderzocht voor o.a. de hoofdstroom maar ook zijtakken van de Maas.

2.2.4 Vaste installaties

Er is nog geen pilot uitgevoerd voor een invanginstallatie die verankerd is aan een stuw. Dit zou echter wel een kostenbesparende en veilige optie kunnen zijn om effectief plastic uit het riviersysteem te halen, ook met het oog op hoge en snelstromende afvoeren. Echter met betrekking tot het ontwerp zijn er geen dimensies en ruimtelijke reserveringen te duiden voor zo'n soort installatie. De aanbeveling voor het V&R proces is om een technische studie te laten uitvoeren naar de ontwerpeisen voor een verankerde invanginstallatie aan een stuw. Deze kennis is nodig om een realistische afweging en de technische vereisten te verkrijgen voor een vaste invanginstallatie.

Samenvatting

Er is nog veel onduidelijk over het toekomstige ontwerp van een afvanginstallatie die effectief werkt nabij een stuw. In het V&R proces moet worden nagedacht over hoe toekomstige installaties kunnen passen bij het stuwontwerp en of dit een vaste of een mobiele installatie betreft.

Ontwerpeis

Het wordt aanbevolen dat tijdens de planfase van V&R een technische studie wordt uitgevoerd naar de mogelijkheid om een invanginstallatie te verankeren aan het stuwcomplex. N.a.v. deze uitkomsten (technische haalbaarheid / efficiëntie/kosten) kan gekozen worden voor een vast of mobiel afvang systeem. Indien gekozen wordt voor een mobiele installatie moet er voldoende ruimte worden gereserveerd aan de zijkant van het stuwcomplex (10 meter). De definitie van 'voldoende' ruimte dient nader bepaald te worden in een aanvullende verkenning in samenhang met lopende programma's/pilots.

2.3 Onzekerheden t.a.v. element en ecologisch aspecten, mitigatie mogelijkheden.

De precieze afvalstromen in de Maas zijn nog niet goed in beeld. Er zijn wel aanwijzingen bij welke stuw het beste een invanginstallatie kan worden opgezet. Uit expert opinie zijn de stuwen Borgharen, Linne, Roermond en Lith genoemd. Echter zijn er een aantal onzekerheden:

- Het is onduidelijk hoeveel plastic er naar de Grensmaas gaat t.o.v. het Juliana kanaal;
- Het is onduidelijk hoeveel plastic afkomstig is uit de Maasplassen, en dus de potentie voor stuw Linne (en bijvoorbeeld een sluis Heel);
- Het is onduidelijk of de WKC's in het V&R proces gerenoveerd zullen worden of niet. Het zijn juist de WKC's die de potentie bieden om efficiënt plastic te verwijderen bij stuw Linne en Lith.

De beste optie, om deze onduidelijkheden en onzekerheden op te lossen, is het formuleren en uitvoeren van een kort (1-jarige) monitoringsonderzoek, alvorens de planfase van het V&R proces in gaat (Intern RWS, 2021). De resultaten kunnen leiden tot een kosten effectievere oplossing voor het drijvend plastic probleem, in samenhang met V&R van de stuwen.

Onlangs is er een monitoringspilot gestart van Lives en is er gemeten bij ca. 200 m³/s bij Eijsden, Borgharen en Linne (m.b.v. larven-netten). Hierbij werd vrijwel geen plastic gevangen (conform telefonische mededeling B2Projects), de afvoer was hiervoor te laag. De grens om plastic te vangen ligt bij ca. 600 m³/s. Echter na 1200 m³/s kan er moeilijk nog goed worden gevaren. Metingen vanaf een schip zijn daardoor lastig, terwijl we wel weten dat hoge afvoeren een hoge vuillast hebben. (van

Aubel P., 2021). Er wordt momenteel verkend of het meetprogramma doorgang vindt bij de juiste afvoer en of we daar 5 extra meetpunten (voor de overige stuwcomplexen) aan kunnen toevoegen. Na het hoogwater in de zomer zal er nu geen representatieve monitoring gedaan kunnen worden bij hoogwater in de winter (omdat veel oevers bovenstrooms “schoon gespoeld” zijn).

Naast het selecteren van de juiste locaties bestaat er onzekerheid over de technische ontwerpeisen en toepassing van zowel mobiele als vaste installaties bij een stuwcomplex. Het is aanbevolen om eerst een technische studie te laten uitvoeren naar de toepasbaarheid, efficiëntie en bijhorende kosten van een vaste installatie alvorens de mogelijkheden tot een mobiele installatie te verkennen.

Een techniek die tot nu toe nog niet is besproken is het gebruik van een bellenscherm om plastic objecten te concentreren in de waterkolom. Mogelijk kan deze techniek samengaan met het optimaliseren van vismigratie door vissen richting de vistrap te geleiden. De toepassing van een bellenscherm dient ook verder onderzocht te worden.

2.4 Belangrijkste onderzoeken t.a.v. element (bruikbaar planfase).

Onderzoek titel	Locatie document	Beschrijving onderzoek
Pilot vangstelsysteem voor plastic afval bij stuw Borgharen	Link	Vangstelsysteem van plastic afval is getest bij de sluis van Borgharen. Methode is beschreven en aanbevelingen voor verbetering.

Geciteerde bronnen staan beneden in de referentie lijst. Deze bronnen bevatten geen directe ontwerp eisen, maar bieden wel nuttige informatie.

3 Vispasseerbaarheid stuwen.

3.1 Belang element.

Uit recent onderzoek (analyse stromend habitat en connectiviteit in de Maas, 2021) is gebleken dat de meeste vistrappen in de Maas niet optimaal functioneren wat betreft de vispasseerbaarheid. Vispasseerbaarheid van stuwen is echter een belangrijk ecologisch aspect en de migratie mogelijkheid voor verschillende vissoorten is essentieel voor de KRW, N2000 (zalm en rivierprik) en de PAGW doelstellingen. Om een goed ecologisch systeem te hebben moeten verschillende vissoorten (diadroom, anadroom en reofiel³) de mogelijkheid hebben om zich vrij langs de verschillende stuwpannen te bewegen. Stuwen zijn een barrière die de verschillende vissoorten moeten kunnen passeren om de diversiteit aan soorten in de Maas te garanderen, maar ook in het verdere stroomgebied verbonden aan de Maas.

Vaak wordt bij vismigratie voornamelijk gedacht aan het belang van stroom opwaartse passage van de stuwen omdat dit een groter knelpunt is dan de stroomafwaartse migratie. Echter moet een onverhinderde (en schadevrije) migratie plaats kunnen vinden in zowel de stroomopwaarts als stroomafwaartse richting. Met name de stuwen die zijn uitgerust met WKC's (Linne en Lith) vormen voor stroomafwaarts migrerende vis een groot knelpunt.

In het aankomende V&R proces, en het maken van een toekomstig stuw ontwerp is er de mogelijkheid om verbeterpunten t.a.v. de huidige stuwen mee te nemen voor zowel de stroomopwaarts als stroomafwaartse migratie.

De stroomopwaartse migratie wordt bij alle stuwen in de Maas (voornamelijk) gefaciliteerd door geplaatste vistrappen die niet optimaal functioneren. De voornaamste redenen hiervoor zijn gebrekkig onderhoud van de afzonderlijke vistrappen⁴ en de gekozen inrichting van het stuw complex. Met de inrichting van het complex, wordt de positionering bedoeld van de stuw, (schut)sluizen, vispassages en eventueel geplaatste water kracht centrale (WKC).

Structurele tekortkomingen bij de verschillende vistrappen zijn:

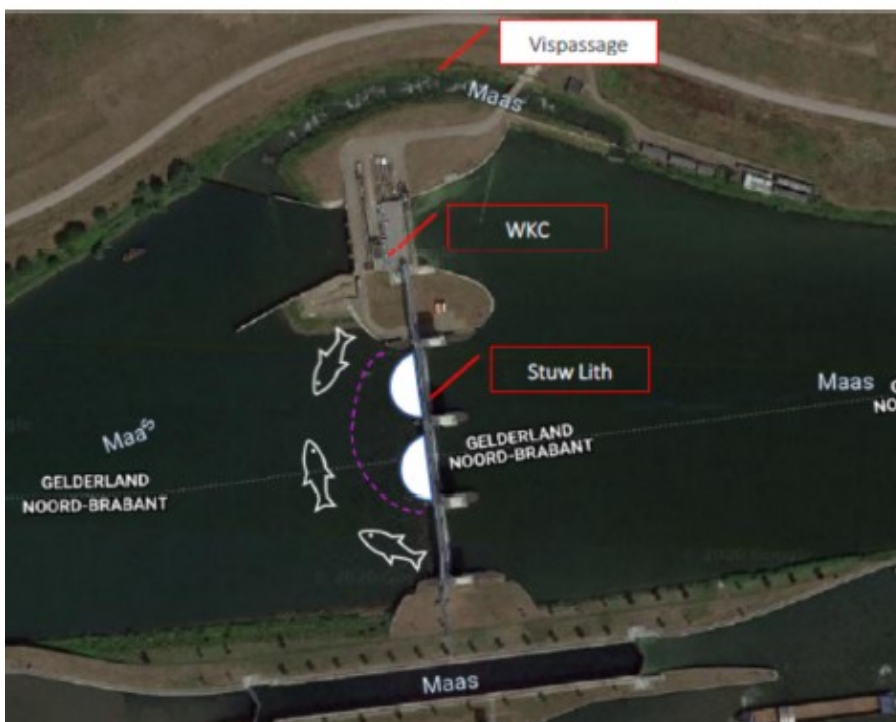
- Scheidingsschotten en drempels tussen de afzonderlijke delen van de vistrap zijn verzakt;
- Delen tussen de drempels zijn verzakt waardoor vissen niet over de drempels kunnen;
- Afzonderlijke delen van de vistrap, maar ook buizen tussen de vistrap delen zijn opgevuld met plastic en vuil waardoor bodem vissen niet of moeilijk kunnen passeren.
- Er is veel turbulente stroming aanwezig binnen de afzonderlijke delen van de trap doordat de opening tussen drempels te groot is geworden en/of de geplaatste schoorstenen niet meer goed functioneren.
- Bij het ontwerp zijn fouten gemaakt t.a.v. het toenmalige ontwerp. Dit ontwerp houdt niet voldoende rekening met de gemiddelde afvoer, er is bij 5 vistrappen geen automatische inlaat aanwezig die een optimale lokstroom garandeert benedenstrooms. Bij veel vistrappen is sprake van een uitlaat/inzwem opening die onder veel condities niet optimaal is gepositioneerd t.a.v. de migratielinielij⁵ van verschillende vissoorten.

³ Diadrome vissoort: vissoort die een deel van zijn levenscyclus in een rivier doorbrengt en de rest in zee of omgekeerd. Anadrome vissoort: trekvis die vanuit zee rivieren optrekt voor de voortplanting. Reofiele vissoort: soorten die houden van snel stromend water en zich verplaatsen tussen stuwpannen.

⁴ De verschillende vistrappen zijn ver in het verleden aangelegd (>15 jaar) maar worden niet optimaal onderhouden. Dit loopt nu via het PCN 19-24 onderhoudscontract, maar daar zit nog niet alles in wat nodig is.

⁵ Dit is een denkbeeldige lijn langs de meest turbulente zone benedenstrooms van een stuw. Dit is de lijn waarlangs vissoorten zoeken naar weg om zich omhoog te bewegen. In figuur 6 wordt deze aangegeven door de roze stippelij.

De inrichting van het stuw-sluis-vistrap complex is in veel van de verschillende complexen niet optimaal. Bij stuw complex Lith en Linne speelt ook nog de combinatie met de WKC een belangrijke rol. Deze inrichting heeft een grote rol in de afvoer van water en daarmee de lokstroom condities richting de stuw en geassocieerde vistrap. Vissen die stroomopwaarts trekken volgen de hoofdstroming. Bij Lith en Linne zijn de vistrappen aan de kant van de WKC, achter een landtong gepositioneerd. Bij lage afvoeren staat de WKC uit en gaat het water over de stuw. Hierdoor komen veel vissen uit aan de verkeerde kant van de stuw en niet bij de vistrappen. Daarbij zijn de lokstroomcondities voor de vistrappen bij lage afvoeren niet sterk genoeg omdat de ingang van de vistrappen niet goed is gepositioneerd t.o.v de migratielimietlijn. Hierdoor blijven de verschillende vissoorten onder de WKC zoeken naar opties om stroomopwaarts te migreren (zie fig. 6). Bij andere stuw-sluis-vistrap complexen in de Maas treden problemen op als bijvoorbeeld water wordt geloosd door de aanwezige schutsluizen. Hierdoor zwemmen de vissen in meer benedenstroomse delen van de Maas naar de schutsluizen. Hier is geen vistrap aanwezig wat leidt tot wachttijden om de sluis in te zwemmen.



Figuur 6: afvoer situatie waarbij alle afvoer over de stuw gaat (turbulente zone in het wit weergeven) en zoekgebied vis (roze stippellijn geeft migratielimietlijn aan).

Voor een meer gedetailleerde beschrijving – zie uitwerking hoofdstuk connectiviteit (hfst. 4) analyse stromend habitat en connectiviteit Maas (2021).

Het V&R proces is de aangewezen plek om te kiezen voor optimaal gepositioneerde en ontworpen vistrappen die in een logische opzet staan met de stuw, sluizen en mogelijke WKC's.

3.2 Ontwerpeisen en aspecten belangrijk bij V&R stuwen.

3.2.1 Positionering van toekomstige vistrappen binnen het stuw-sluis-vistrap complex

Vistrappen moeten gepositioneerd worden aan een kant van de stuw waar de meeste afvoer plaatsvindt. Indien er een WKC of schutsluis nabij de stuw aanwezig is, kunnen die de lokstroomcondities beïnvloeden. Bij deze stuwen moet mogelijk een extra vistrap geplaatst worden of een vistrap met twee ingangen (kant WKC/schutsluis en een kant de stuw). Een optimale positionering van de vistrappen moet zo veel mogelijk vissen ongehinderd in de juiste richting sturen voor verdere migratie en voorkomen dat ze in een doodlopend stuk terecht komen waar geen mogelijkheden voor optrek zijn (zoals in fig. 6).

Ontwerpeis.

Zorgen voor goede combinatie van stuw-vistrap-sluis-WKC complex bij V&R proces. Mogelijkheid onderzoeken om dubbele vistrap (met twee ingangen aan weerszijden) te plaatsen indien er een stuw geplaatst wordt met aan weerszijde een WKC of schutsluis. Betrek de vistrap aan het begin van het ontwerpproces zodat een slimme keuze wordt gemaakt m.b.t de positionering.

3.2.2 Installatie en optimalisatie bijpassende vistrappen

Bij het herontwerpen van de stuwen moet nagedacht worden over de inlaat en uitstroom opening van de bijpassende vistrap(pen) en de benodigde ruimte voor een nieuwe vistrap. Hierbij moet de ingang van de vistrap gunstig gepositioneerd worden en de uitlaat niet te dicht bij de overlaat (of onderlaat) van de stuw uit komen. Bij het kiezen van het type stuw moet dit al in acht worden genomen zodat het een goed geïncorporeerd onderdeel wordt van het stuw complex. Door de positionering en het type vistrap gedurende initiële ontwerp fase al te betrekken kan ervoor gezorgd worden dat er bijvoorbeeld tussen assets (WKC-stuw-sluis) voldoende plek aanwezig is voor het plaatsen van een passende vistrap (in de vorm van een vertical slot passage). Momenteel zijn de vistrappen in de stuwen van de Maas voornamelijk aan de zijkant gepositioneerd, onafhankelijk of dit de meest gunstige locatie is gezien de aanwezig lokstroom condities. Dit dient verbeterd te worden in het toekomstige V&R proces.



Figuur 7: Vistrap bij stuw Lith, zijde van de WKC.

De grootte van een dergelijke vispassage hangt af van het (maximale) verval tussen de verschillende vispassages. In veel gevallen waar er beperkte ruimte is voor de aanleg van een passage, wordt gekozen voor een vertical slot passage, vanwege de modulariteit (aanpasbaarheid) van het type passage, de TRL (technology readiness level) en de eenvoud waarmee beheer en onderhoud gepleegd kan worden aan dergelijke vispassages. In de analyse 'Stromend habitat en connectiviteit in de Maas, (2021)' worden de eisen genoemd waaraan nieuw geplaatste vis passages moeten voldoen en is er een principe ontwerp voor de stuw Borgharen gegeven (zie hoofdstuk 7.2 – principe ontwerp voor nieuwe vispassages op de Maas).

De huidige vistrappen worden nu voor bepaalde aspecten onderhouden via het PCN 19-24 onderhoudscontract, maar daar zit nog niet alles in wat nodig is. Systematische controle van de stuw en vistrap zou een integraal onderdeel moeten worden van toekomstige (beheer)plannen. Bij het ontwerpen van een gunstige opzet voor de stuwen en vistrap(pen) moet er ook nagedacht worden over het eenvoudig kunnen uitvoeren van beheer en onderhoudstaken aan de vistrap (en mogelijke detectie stations).

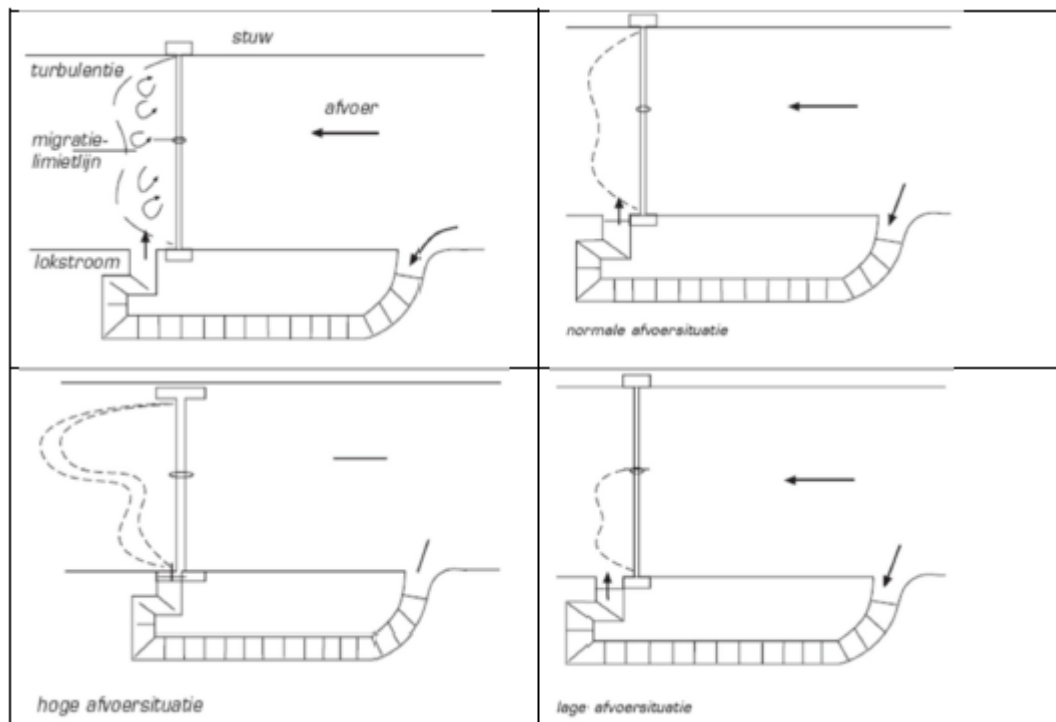
Ontwerpeis.

Betrek de positionering van de vistrap al in een vroeg stadium. Zorg bij het bepalen van de positionering van de stuw en het type stuw ervoor dat de opzet rekening houdt met de positionering van de vistrap(pen). Zorg dat controle en onderhoud voor de stuwen samenvalt met het onderhoud van de bijbehorende vistrappen.

3.2.3 Afzonderlijk bestuurbare onderdelen voor optimale lokstroom condities

Deze ontwerpeis heeft wat uitleg nodig qua benaming. Zoals eerder benoemd volgen vissen de stroming. Dit doen de vissen totdat ze bij de zogenaamde turbulente zone aankomen direct benedenstrooms van de stuw. Hier bevat het water veel (turbulente) energie. Vissoorten zullen zich langs een migratielinielijntje bewegen (zie eerdere uitleg), die rondom de turbulente zone loopt totdat ze een manier vinden om omhoog te trekken (lees vistrap). Als er een erg hoog of juist laag debiet binnen de Maas is kan de migratielinielijntje verschuiven. De wisselende afvoeren kunnen ertoe leiden dat de migratielinielijntje juist voor of achter de vistrap komt te liggen. Hierdoor zijn de condities voor het vinden van de vistrap niet optimaal voor de verschillende vissoorten.

Dit zoek proces kan positief worden beïnvloed indien met de stuwen een wisselende migratielinielijntje kan worden gecreëerd die goed overeenkomt met de ingang van de vis trap.



Figuur 8 Ligging van de migratielinielijntje en de turbulente zone bij diverse afvoersituaties (Kroes en Monden, 2005)

Hiervoor is nodig dat er verschillende delen binnen de stuw zijn die afzonderlijk van elkaar bestuurd kunnen worden om de migratielimietlijn te positioneren nabij de ingang van een vistrap. Dit is mogelijk door de afvoer te verdelen over de verschillende delen van een stuw. Dit is in het verleden al een keer uitgewerkt voor de stuw Sambeek door Kranenbarg en Kemper (2006). Het is echter niet wetenschappelijk bewezen dat het aanpassen van de migratielimietlijn daadwerkelijk een positief effect heeft op vismigratie. Hiervoor is een langdurig telemetrisch onderzoek nodig. Echter wordt deze wijze van stuw beheer wel aangeraden als een no-regret maatregel in de analyse 'stromend habitat en connectiviteit in de Maas (2021)'. (Vriese et al., 2021).

Technisch betekent dit dat een stuw uit twee of meerdere delen bestaat die onder invloed staan van een automatisch besturingsprogramma, dat aanstuurt op een optimale migratielimietlijn t.a.v. een bestaande vispassage. Het lijkt logisch om te redeneren dat als een stuw uit meerdere stuw delen bestaat er ook in meer detail gestuurd kan worden. Hierin zal ook zeker een optimum zijn met de beheer en onderhoudskosten. Er wordt in ieder geval geadviseerd te kiezen voor twee of meer losse stuw delen die los van elkaar stuw en.

Ontwerpeis.

Zorg ervoor dat er tenminste twee tot drie stuw onderdelen zijn zodat er (automatisch) gestuurd kan worden op het creëren van een optimale migratielimietlijn t.a.v. aanwezige vistrap(pen). Het is hierbij aan te raden dat de verschillende stuw onderdelen op afstand bediend kunnen worden.

3.2.4 Dimensioneren toekomstige woelbakken (indien overstortende stuw).

Vriese (2017) heeft gekeken naar de effecten van stroomafwaartse passage van vis over stuwen. In grote lijnen kan onderscheid worden gemaakt in directe schade als gevolg van stroomafwaartse passage van stuwen en indirecte schade. Directe schade kan ontstaan als gevolg van botsing ('vallen' over de stuw), 'grinding' (afschaving door beklemming), barotrauma (abrupte drukverschillen), 'shear' (schurende krachten, afschuiving) en turbulentie. Indirecte schade als gevolg van passage van stuwen bestaat uit predatie door vogels en vissen en vertraging van de migratie. Over het algemeen zijn de fysieke condities bij passage van stuwen niet van dien aard dat directe schade te verwachten is. Wel is er een risico op indirecte schade doordat vissen worden blootgesteld aan een hoge mate van turbulentie (zeker bij hoge afvoeren). Het gevolg hiervan is dat vissen sterk gedesoriënteerd zijn, verstoorde zwembewegingen vertonen, waarbij de predatorreflex tot wel 24 uur kan worden onderdrukt (Odeh et al., 2002). De vissen zijn dan een makkelijke prooi voor predatoren die zich ook daadwerkelijk benedenstrooms van stuwen verzamelen.

In het specifieke geval van een woelbak onder een overstortende stuw kunnen er toch risico's voor schade door turbulentie aanwezig zijn. Voldoende diepte en voldoende volume zijn hierbij van belang. DWA (2005) citeren hier Odeh & Orvis (1998) en stellen dat de diepte van de woelbak een kwart van de valhoogte (niveauverschil) en minimaal 0,9 m dient te zijn en de woelbak een volume moet hebben van 10 m³ per 1 m³/s afvoer. Als dan bijvoorbeeld wordt gekeken naar de stuwen op de Maas, en specifiek de stuw bij Roermond, dan kan worden geconstateerd dat de diepte onder het Poirée deel van de stuw 1,5 m is en daarmee ruimschoots voldoende is (3-4 m verval). Bij het Poirée deel van de stuw is geen sprake van een woelbak. De bodem stroomafwaarts bestaat uit een betonnen vloer voor de eerste 10 m, waarna de bodem is versterkt met grove stortsteen (40 – 200 kg). Een en ander vormt naar alle waarschijnlijkheid geen risico; in wezen is het een open waterlichaam waarin het water terecht komt, waarbij de stroomsnelheden ook in voldoende mate beperkt zijn.

De beide Stoney delen bij Roermond hebben echter wel een woelbak, met afmetingen van 17 x 6 x 2,5 m (volume is 255 m³ per Stoney deel). Maximaal zou er 25,5 m³/s over elk Stoney deel mogen gaan (in totaal 51 m³/s) ter beperking van de turbulentie volgens de richtlijnen van Odeh & Orvis (1998). In de praktijk kan het debiet over elk Stoney deel oplopen tot maximaal 100 m³/s (in totaal 200 m³/s voor beide delen), waarmee de richtlijnen ruimschoots worden overschreden en er dus te grote turbulentie kan ontstaan (zie Foto 9). Het water stort in de woelbak en wordt vervolgens omhoog gedwongen waarbij een staande golf ontstaat. Om te voldoen aan de richtlijnen zou de woelbak minimaal een volume moeten hebben van 1000 m³. Hiertoe dient de woelbak in stroomafwaartse richting te worden verlengd en tevens dieper worden gemaakt. Geschikte afmetingen zouden zijn 17 x 15 x 4 m (volume is dan 1020 m³). Het verdient de aanbeveling dit bij alle toekomstige stuwcomplexen met Stoney stuwen tot uitvoering te brengen om indirecte sterfte als gevolg van blootstelling aan turbulentie te beperken.



Figuur 9 Stromingsbeeld benedenstrooms van de stuw bij Roermond bij hoge afvoer (foto F.T. Vrieze ATKb)

Ontwerpeis.

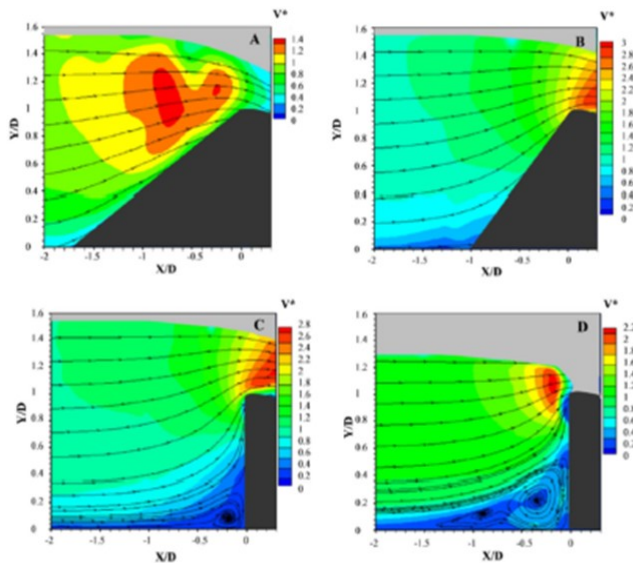
Zorg ervoor dat toekomstige stuwen een woelbak hebben die voldoende gedimensioneerd zijn om de turbulente energie uit te doven en ervoor te zorgen dat er geen indirecte sterfte plaatsvindt. Gebruik hiervoor de beschreven referenties. Het is hierbij aan te raden de woelbak te overdimensioneren gezien de gemiddelde afvoeren hoger kunnen uitvallen door klimaatsverandering.

3.2.5 Vorm van de overlaat

Bij stroomafwaartse migratie kan vertraging optreden door de aanwezigheid van stuwen. Uit onderzoek blijkt dat de verblijftijd voor stuwcomplexen met een WKC het grootst is en bij de overige een wisselend beeld bestaat. (Vriese et al., 2015a; 2015b). De hoeveelheid afvoer speelt hierbij ook een rol, blijkt uit een onderzoek naar relatief kleine stuwen in de rivier Tweed (Verenigd Koninkrijk). In een jaar met een lage afvoer werd er een aanzienlijke vertraging waargenomen t.o.v een jaar met een hogere afvoer. (Gauld et al., 2013). Ook bleek de vertraging afhankelijk van het type stuw.

Om de passage bij stuwen te verbeteren zijn er verschillende mogelijkheden. Uit een Amerikaans onderzoek (Haro et al., 1998) is gebleken dat een aangepaste stuw een efficiëntere passage biedt voor bepaalde vissoorten dan bij een gewone stuw. Het ontwerp kenmerkt zich door breedte in de stroomrichting die geleidelijk aan oploopt (soort van lange overlaat) en er is sprake van een uniforme stroomsnelheidstoename (1 m/s per m, in de stroomrichting). Met name voor zalmsmolts werd de passage vergroot, de vertraging in de migratie minder en bleef de schoolvorming intact.

Relatief recent is soortgelijk onderzoek uitgevoerd naar Schieraal en Iberische barbeel met verschillende typen stuwen met een inclinatie in de stroomrichting van 30° (A), 45° (B) en 90° bij 2 verschillende dieptes (C en D). (Silva et al., 2015). De volgende aspecten werden bepaald: aantal naderingen van de overlaat, tijd die voor de overlaat werd doorgebracht (de vis onderzoekt de



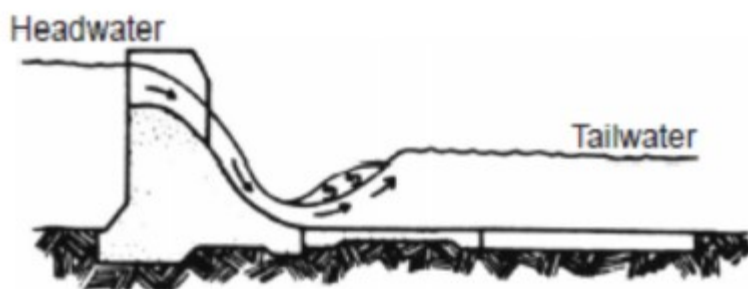
structuur), passagetijd, passage succes, oriëntatie van de vis en het zwemgedrag (actief, passief, ongecontroleerd).

In de ontwerpen (A) en (B) is de stroming uniform en gelijk verdeeld in alle richtingen en convergeert in de richting van de overlaat rand. De stroomsnelheid langs de bodem is nihil. In de ontwerpen (C en D) met is het stroombeeld anders: de gemiddelde stroomsnelheid is sterk variabel zowel in de stroomrichting als verticaal.

Figuur 10: stuw configuraties en stromingsbeelden, zij aanzicht. V^* dimensie loze stroomsnelheid met stromingslijnen (uit Silva et al., 2015)

De langere overlatten met een glooiende helling lieten voor schieraal een duidelijk beter passagesucces lieten zien dan de verticale overlaat. Hoewel het passagesucces bij ontwerp B het hoogst was, werd ontwerp A als best beoordeeld wanneer alle genoemde aspecten werden meegenomen (passagetijd was bijvoorbeeld sneller bij ontwerp A). Voor barbeel was slechts in geringe mate sprake van een verbetering, mede doordat deze soort mogelijk niet gemotiveerd was stroomafwaarts te gaan. Beide soorten ontweken de meer turbulente stroming langs de verticale overlaat.

Het uitgevoerde onderzoek biedt aanknopingspunten om het ontwerp van stuwen te optimaliseren voor vis: turbulente zones voor de stuw dienen te worden vermeden; stroomsnelheid dient in de stromingsrichting geleidelijk toe te nemen (bij voorkeur: 1 m/s per m); bij voorkeur is sprake van een lange overlaat met een helling rond 30°; de overstortende straal moet voldoende dikte hebben (een en ander pleit wellicht voor een getrapte overlaat of een v-vormige overlaat, zodat ook bij lage afvoeren de waterlaag zo dik mogelijk blijft). Deze ontwerpeis zal in samenhang met het optimaliseren van de migratielinielijnen moeten worden uitgewerkt. De benedenstroomse zijde van de stuw zou wellicht ook vorm gegeven kunnen worden als een Ogee spillway (Figuur 11) in combinatie met de aanleg van een kunstmatig paaihabitat voor vissen (Knott et al. 2021).



Figuur 11: Ogee spillway (bron Therrien en bourgeois, 2000)

Ontwerpeis: In het ontwerp proces van toekomstige stuwen moeten turbulente zones voor de overlaat van een stuw worden vermeden. De stroomsnelheid dient in de stromingsrichting geleidelijk toe te nemen (bij voorkeur: 1 m/s/ per m). Bij voorkeur is sprake van een lange overlaat met een helling rond 30°. De overstortende straal over een overlaat moet voldoende dikte hebben. Door deze verschillende feiten kan er gepleit voor een getrapte overlaat of een v-vormige overlaat, zodat ook bij lage afvoeren de waterlaag zo dik mogelijk blijft. Het verdient aanbeveling om eventuele ontwerpen te modelleren met CFD zodat zones met turbulentie en shearverhoogde shearstress al in de ontwerpfase opgespoord kunnen worden en door eventuele aanpassingen zoveel mogelijk worden vermeden. Dit zal, in combinatie met een ruime woelbak, zorgen voor een optimale stroom afwaartse migratie (snelle, schadevrije migratie). Het ontwerp moet samengaan met de eis voor geoptimaliseerde lokstroom condities (migratielimitlijn)

3.2.6 Aanleggen van toekomstige telemetrie data

Detectiestations bij stuwen zijn nodig voor vis migratie onderzoeken. De detectie stations bieden de mogelijkheid om gemerkte (gechipte) vis soorten waarnemen. Er zijn verschillende telemetriesystemen ontwikkeld. In de meeste systemen worden vissen voorzien van een zender die een signaal afgeeft wanneer ze een bepaald punt passeren. Het NEDAP systeem dat wordt toegepast in de Maas werkt met detectiekabels en legt het type vis, de passeer datum en de locatie vast. In aanvulling op of ter vervanging van het NEDAP systeem zijn er ook andere visdetectiemethodes. Hierbij kan gedacht worden aan VEMCO of RFID (PIT tags). Met name de RFID methode zou toegepast kunnen worden ten behoeve van monitoring van vis in de vistrap middels plaatsing in de instroom en uitstroomopening van vistrappen. VEMCO daarentegen maakt het mogelijk om het gedrag van vis in de nabijheid van de stuw (en reactie daarop) te onderzoeken.

Dit geeft bruikbare informatie over hoe snel vissen optrekken, hoe goed het lukt om op te trekken en welke weg de vissoorten gebruiken om stroom opwaarts te migreren. Tevens kan het informatie geven over het verblijf van de verschillende vissoorten binnen een stuwband en zoekgedrag benedenstrooms van een stuw. Daarnaast is het van belang dat het detectiesysteem onderscheid kan maken in stroomopwaarts of stroomafwaarts migrerende vis.

De locatie van de detectie stations is ook belangrijk voor het onderscheid maken in de vergaarde telemetrie data. Dit is voornamelijk belangrijk om onderscheid te maken in data t.a.v. stroomopwaartse migratie. Momenteel is er vaak nog discussie of stroomopwaarts migrerende vissen omhoog zijn gekomen via een vistrap of schutsluizen. Door het kiezen van gunstige locaties voor de detectie station is het in de toekomst duidelijker welk pad (passage/schutsluis) migrerende vissen doorlopen om bovenstrooms van de stuw te komen. Tevens kan er door rekening te houden met de locatie van de te plaatsen stations ook voor gezorgd worden dat de detectie stations makkelijker en goedkoper te onderhouden zijn. Momenteel zijn de detectie stations niet makkelijk te onderhouden of te repareren. Dit heeft in bepaalde jaren gezorgd voor het missen van (telemetrie) data. Indien dit voorkomen kan worden door het kiezen van gunstige locaties voor onderhoud – dan scheelt dit RWS (ZN) als opdrachtgever en partij die de data moet gebruiken.

Ontwerpeis.

Zorg bij de vispassage, stuw en schutsluizen voor afzonderlijke detectie stations voor het vergaren van telemetrie data. Zorg ervoor dat bij de aanleg van dergelijke stations onderscheid gemaakt kan worden in de herkomst van stroomopwaarts of stroom afwaarts migrerende vissoorten. Dit is een tekortkoming in het huidige systeem. Denk in de ontwerp fase van de (indirecte) omgeving van een stuw na over opties voor bovenstroomse detectie stations. Dit zijn lastige locaties om reparaties of onderhoud uit te voeren. Indien er gekozen kan worden voor een bijpassend systeem om de stations te onderhouden, dan zou dit kunnen schelen in data doorloop en onderhoudskosten.

3.3 Onzekerheden t.a.v. ecologisch aspect, mitigatie mogelijkheden.

Het creëren van gunstige lokstroom condities (afstemming migratielinietlijn met ingang vispassage), is een concept dat niet is bewezen met significant wetenschappelijk onderzoek. Er is eenmalig een onderzoek gedaan waarbij de condities voor het uitvoeren van de proef niet optimaal waren en de resultaten gaven een wisselend beeld. Echter kan uit een overeengekomen expert judgment (BUWA, ATKB, Bart Reeze Ecologie, Bureau Stroming) wel worden geconcludeerd dat een dergelijke aanpassing bij stuwen een no-regret maatregel is die zal leiden tot gunstige omstandigheden voor opwaartse vismigratie.

Andere mogelijkheden ten behoeve van het geleiden van vis van een kunstwerk af of richting een vis passage toe zijn bijvoorbeeld het gebruik van stroboscoop lichten of het afspelen van geluiden (Noatch and Suski 2012). Mogelijk kunnen één of meerdere technieken worden ingezet om vis te geleiden rondom de stuw.

Daarbij behoort het een verdere uitwerking hoe de twee ontwerpeisen (bestuurbare delen t.b.v sturen migratielinietlijn) en de meest ideale vorm van de overlaat samen kunnen gaan.

3.4 Belangrijke onderzoeken t.a.v. element (bruikbaar planfase).

Onderzoek titel	Locatie document	Beschrijving onderzoek
Kranenbarg, J. & J. Kemper, 2006. Efficiëntere vismigratie bij vistrappen en kunstwerken. Onderzoek op vismigratie gericht stuwbeheer in de Maas bij Sambeek. WL Delft Hydraulics. In opdracht van Rijkswaterstaat RIZA. Rapportnummer Q4092.	Efficiëntere vismigratie bij vistrappen en kunstwerken: Onderzoek op vismigratie gericht stuwbeheer in de Maas bij Sambeek TU Delft Repositories	Geeft weer hoe gunstige lokstroom condities bereikt kunnen worden. Dit onderzoek geeft een voorbeeld voor stuw Sambeek. Dit onderzoek geeft de grondslag voor het creëren van gunstige lokstroom condities bij andere stuwen (t.a.v. de migratielinietlijn en vispassage).
Analyse stromend habitat en connectiviteit in de Maas (2021)	P:\zn\HoewerktdeMaas\3. Schoon en gezond water\Analyse connectiviteit en stromend habitat Maas\Rapport versie 3	Geeft een compleet beeld van het huidige systeem en de connectiviteit tussen de verschillende stuwpannen in zowel de stroomafwaartse als opwaartse richting. De analyse geeft een goed beeld van de werking van de huidige vistrappen en hoe toekomstige stuwen verbeterd kunnen worden in hun opzet. Toon aangevend document dat alle voorgaande studies omtrent vismigratie en stromend habitat samenvat. Meeste verwijzingen uit dit onderdeel (vispasseerbaarheid) van deze memo komen dan ook voort uit deze analyse. De genoemde ecologische effecten worden in meer detail beschreven in de analyse.

4 Aanleg stromend habitat nabij stuwen

4.1 Belang element .

De huidige ecologische toestand in de Maas wordt nog steeds als 'matig' beoordeeld voor macrofauna en voor vissen zelfs 'matig' tot 'ontoereikend'. Eén van de redenen (naast gebrekkige connectiviteit) die samenhangt met de verstuwning is het gebrek aan stabiel stromend habitat.

Een groot deel van de kenmerkende riviersoorten is namelijk gebonden aan stromend habitat. Dit stromend habitat bestaat uit ondiep, permanent stromend water en een gevarieerd bodemsubstraat met voornamelijk zand en grind en daarnaast rivierhout, plukken waterplanten en organische substraten zoals slib en ingevallen blad.

Doordat een groot deel van de Maas gestuwd is en diep is, komt geschikt stromend habitat alleen voor in de vrij afstromende trajecten: de Grensmaas en daarnaast nog (een klein stukje) Bovenmaas en de Lus van Linne. In deze delen van de Maas is het hele jaar door stromend habitat aanwezig.

De gestuwde trajecten zijn zo diep dat voor stromend water een grote afvoer nodig is, die maar in een beperkt deel van het jaar (het winterhalfjaar) beschikbaar is. Verder is er in het (vroege) voorjaar in de meer bovenstroomse delen van de stuwpanden nog licht stromend water aanwezig (ca. 0,3 m/s). De consequentie hiervan is een beperkte aanwezigheid van stromingsminnende vissoorten en een beperkte diversiteit van de macrofauna met slechts een gering aandeel kenmerkende riviersoorten.

De Maas is dus gebaat bij de aanleg van nieuw stromend habitat, en de optimalisatie van reeds bestaand habitat.

4.2 Ontwerpeisen en aspecten

De stuwen, of beter gezegd – de nabije omgeving van stuwen, kan worden ingezet om stromend habitat te creëren. Dit kan doormiddel van:

- Aanleg van een stuwgeul benedenstrooms van de stuw.
- Aanleg van een (kleine) stuw passerende nevengeul om de stuw heen.

Beide concepten komen aan bod in de 'analyse stromend habitat en connectiviteit in de Maas' (2021) Over de werking van stuwpasserende nevengeulen is al één en ander bekend en dit concept is al toegepast bij Roermond, bij Boscherveld/Borgharen en in de Overijsselse Vecht (Junne). Sinds kort wordt er ook wel gesproken van een 'nevengeul 2.0'. De aanleg van stromend habitat direct beneden stuwen d.m.v. zogenaamde stuwgeul is een relatief nieuw concept. De basis principes voor zowel de stuwpasserende nevengeul en de stuwgeul worden beneden staand uitgewerkt per maatregel.

4.2.1 Stuwpasserende nevengeulen

Werking stuwpasserende nevengeul

De stuwen in de Nederlandse Maas overbruggen een peilverschil tussen ca. 3 en 5,5 meter. Dat is bij de lagere rivierafvoeren, want zodra de afvoer toeneemt (> 150 m³/s) gaat het peil in het benedenstroomse pand stijgen en neemt het peilverschil langzaam af. Het grootste deel van het jaar (>250 dagen) is deze peilverhoging benedenstrooms echter gering en het peilverschil maximaal.

Een stuwpasserende nevengeul maakt gebruik van dit peilverschil doordat het water vanuit het bovenstroomse pand via een nieuw gegraven bedding in de uiterwaard rond de stuw wordt geleid. Hiermee ontstaat stromend habitat.

Morfologische aspecten bij een stuwpasserende nevengeul

Een belangrijke voorwaarde voor het functioneren is dat de morfodynamiek in de geul niet te groot wordt. Het stromende water zal namelijk de bedding en de oevers van de geul eroderen. En omdat er vanuit het bovenstroomse stuwpannd (vrijwel) geen sediment wordt aangevoerd, is de kans groot dat er een negatieve sedimentbalans ontstaat. Het water dat de geul instroomt bevat namelijk geen sediment zoals zand en grind, omdat het water uit het bovenste deel van de waterkolom wordt onttrokken. Daarbij komt het sedimenttransport van zand in het bovenstroomse stuwpannd pas op gang als de stuw gestreken is en dat is maar enkele dagen per jaar⁶. Fijn sediment (klei en fijn zand) dat in het water zweeft zal wel vanuit de Maas worden aangevoerd, maar dit zal in de nevengeul ook in de waterkolom blijven zweven en grotendeels snel worden doorgevoerd.

Een negatieve sedimentbalans is deels te voorkomen door de bodem van grover sediment of stenen te voorzien, maar daarmee komt het systeem verder af te staan van een natuurlijk stromend habitat in dit deel van de Maas. Er zal daarom een afweging gemaakt moeten worden tussen de gewenste hoeveelheid water (stroming en daarmee snelheid van erosieprocessen) en het gewenste substraat op de bodem van de geul. Een andere aanbeveling is om de nevengeul bij aanvang 'krap' te dimensioneren, waarna het water zelf zorgt voor een bijpassende bedding. Na deze initiële fase waarin de geul haar profiel zelf vorm geeft, zal het nodig zijn om structureel sediment toe te voegen op een bovenstrooms gelegen locatie (zandsuppletie of grindsuppletie) (Reeze et al., 2020).

Hydrologische aspecten

Voor de stroomminnende soorten en het tegengaan van verslibbing is de aanwezigheid van voldoende stroming gedurende het hele jaar cruciaal. Het verval tussen de stuwpannden speelt hierbij een rol. nevengeul. Er kan middels het ontwerp zo goed mogelijk rekening worden gehouden met een natuurlijke situatie die zich voordoet in de omliggende beken en het Maasdal. Zo heeft de Swalm een verhang van ca. 2 m/km, Leubeek ca. 1 m/km en Groote Molenbeek 1 m/km. Hierbij gaat het dan om het verhang over het dal. Omdat de bedding vaak meandert kan het verhang over de bedding soms een factor 2 of meer kleiner zijn. Het verval over de stuw bedraagt minimaal 3 meter en het verhang (het verval per kilometer) is daarom groot: bij de kortste geulen (1,5 – 2 km) bedraagt het tot ca. 2 m/km en bij de langere (5 – 6 km) neemt het af tot ca. 0,5 m/km.

Conclusie t.a.v. het debiet door de stuwpasserende nevengeul

Vanwege het hierboven beschreven risico op een negatieve sedimentbalans, als gevolg van vaak en veel erosie en nauwelijks sedimentatie, is het niet mogelijk om een hoog debiet door de nevengeul te sturen. Als dat wel zou gebeuren, dan neemt de erosie al snel toe en zal de bedding zich inslijten in de ondergrond. Na verloop van tijd ontstaat er dan een steeds grotere terreinsprong aan de bovenstroomse zijde. Hierdoor is het noodzakelijk om voor stuwpasserende nevengeulen met een zandige bodem uit te gaan van een debiet van zo'n 0,5 tot 1 m³/s bij de locaties met een kort traject en 1 tot 2 m³/s bij de langere trajecten. Een gevarieerd aanbod in stroomsnelheden tussen de 0,2 - 1,5 m³/s is ideaal voor veel kenmerkende riviersoorten (Tabel 11 in Vriese et al., 2021). Als voor een grovere, grindige bodem wordt gekozen in de aanlegfase kan een hoger debiet worden doorgelaten. Een andere stuurknop is de lengte van de bedding, als bijvoorbeeld wordt gekozen voor een sterk meanderende bedding zoals de Swalm (zie Figuur 12) dan zal het verhang over de bedding

⁶ Indien er in het V&R proces wordt gekozen voor een stuw met onderlaat, of een ander systeem ten gunste van de continuatie van sedimentatie, zal dit een minder groot probleem zijn. Zie het hoofdstuk over sedimentdynamiek in deze memo.

verminderen en is een waarschijnlijk een iets groter debiet mogelijk zonder dat al te veel erosie optreedt. Het gaat hierbij om een ruwe inschatting van het debiet. In het vervolg zal dit verder uitgewerkt moeten worden en door middel van een berekening nauwkeuriger moeten worden bepaald. Een aanbeveling is ook om de inlaat zo te dimensioneren dat er gestuurd kan worden op de maximale afvoer, bijvoorbeeld tussen 1 en 5 m³/s. Door middel van lerend implementeren kan dan stapsgewijs in de eerste jaren nagegaan worden wat het ideale debiet is voor een goed functionerende nevengeul.



Figuur 12: Beeld van de Swalm, met daarin de sterk meanderende loop van deze beek.

Geschikte locaties voor aanleg stuwpasserende nevengeulen

In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van locaties in het Maasdal die geschikt geacht worden voor stuwpasserende nevengeulen.

Locatie	Oever	Lengte in km (maximaal)	Peilverschil in m	Verhang in m/km	Bijzonderheden
Borgharen	Links	1,5	5,5	3,7	Bestaat sinds 2020 met debiet van ca 300 l/s
Borgharen	Rechts	5	7	1,4	Via Kanjelbeek
Heel	Links	7	6,75	0,95	Via Horn-Beegden-Heel
Linne	Rechts	2,2	4	1,9	Via de Weerd
Roermond	Rechts	2,6	2,8	1,05	Bestaat sinds 2013 met een klein debiet.
Belfeld	Links	2,2	3	1,35	
Sambeek	Links	7	3,1	0,45	Via Maasheggengebied
Sambeek	Rechts	4,5	3,1	0,7	
Grave	Links	4,5	3	0,65	Via Keent
Grave	Rechts	4	3	0,75	
Lith	Rechts	2,5	4,05	1,6	

Tabel 1: Geschikte locaties in het Maasdal voor stuwpasserende nevengeulen.

Dimensies stuwpasserende nevengeul

De lengte is bepaald aan de hand van de maximale ruimte die er volgens de topografische kaart beschikbaar is. Hier is dus nog geen rekening gehouden met bv de eigendomssituatie en conditionerende zaken zoals b.v. leidingen etc.

Afhankelijk van de lengte en het debiet dat via de stuwpasserende nevengeulen wordt afgevoerd, zal het doorstroomprofiel vastgesteld moeten worden. Afgaande op de hierboven genoemde beken met een vergelijkbaar verhang en debiet komt dit uit op een breedte van ca. 5 tot 7 m. Bij de ruimtelijke reservering in de breedte moet ook rekening worden gehouden met het toelaten van oeverbegroeiing en bomen op de oevers. Van nevengeulen is bekend dat het water relatief snel opwarmt en het er mogelijk overdag te heet wordt voor vissen. Daarom is schaduwvorming op de geul erg belangrijk. Om de geul ecologisch verder te optimaliseren kan er ook gedacht worden aan het aantakken van stilstaande wateren en eventuele lobben van de geul ten behoeve van opgroeiende vislarven.

De diepte van de bedding kan bij aanvang ondiep gehouden worden omdat deze door erosie dieper zal komen te liggen. Om doorstroming mogelijk te maken zal de hoogte bovenstrooms op ca. 50 cm onder het stuwpeil moeten liggen. Dit betekent dan dat de bodem van de bedding in een groot deel van het traject zo'n 1,5 tot 2 m onder het maaiveld zal komen te liggen. De lengte van de mogelijke trajecten is aangegeven in tabel 1. In deze lengte is de sinusiteit niet meegenomen. Zoals het voorbeeld van de Swalm laat zien kan deze een factor 2 groter zijn dan de rechte loop, daardoor verdubbelt ook het areaal aan stromend habitat.

Effectiviteit en overige effecten

- Connectiviteit: deze maatregel zorgt voor een verbeterde stroomopwaartse passeerbaarheid van de stuwen, maar de mate waarin is zeer sterk afhankelijk van het debiet door de geul en de plek van de monding. Als gevolg van de morfologische ontwerpprincipes ligt de uitstroomopening (ver) benedenstrooms van de stuw waardoor vissen bij een normale tot hoge rivier afvoer de ingang slecht kunnen vinden. Het vraagt verkenning of dit verbeterd kan worden door bijv. de vissen te begeleiden met een bellenscherm. Het debiet door de geul zal ook niet heel groot kunnen zijn (vergelijkbaar met een vistrap) vanwege de morfologisch stabiliteit. Daarom dient elke stuw alsnog voorzien te zijn van een vistrap. Voor stroomafwaartse migratie zal deze geul niets tot weinig kunnen betekenen omdat de meeste vis met de hoofdstroom mee naar beneden migreert en het aandeel water door de geul dan heel klein is.

- Stromend habitat: deze maatregel draagt optimaal bij aan het creëren van stromend habitat. Belangrijke randvoorwaarden voor de ecologische ontwikkeling zijn een permanente stroming (ook in de zomerperiode), een dynamisch evenwicht tussen erosie en sedimentatie (ontwerp is morfologisch stabiel) en ruimte voor het ontstaan van natuurlijke habitats in het water (zand- en grindbanken, rivierhout) en op de oever (bomen, struiken en ruigtes).

- Waterstand: de stuwpasserende nevengeul heeft geen invloed op de waterstanden omdat alleen water wordt gebruikt dat al over de stuw valt;

- Scheepvaart: geen effecten. Waterstanden en stroomsnelheid in de vaargeul worden niet of nauwelijks beïnvloed;

- Grondwater: beperkt effect mogelijk omdat de nevengeul lokaal een drainerend effect kan hebben op de grondwaterstanden;

- Stuwbeheer: geen invloed;

- Waterkwaliteit: geen invloed.

Ontwerpeis: Onderzoek de mogelijkheid om stuwpasserende nevengeulen aan te leggen bij alle stuwcomplexen. Gebruik hiervoor de ontwerpeisen uit de analyse stromend habitat en connectiviteit in de Maas (2021). Bij iedere stuw zal er sprake zijn van verschillende omstandigheden. Hieraan gekoppeld zal het verhang, debiet, bodemligging, inlaatwerk en stromingscondities geoptimaliseerd moeten worden. Gezien de negatieve sediment balans wordt geadviseerd de aanleg van een kleine variant te onderzoeken (debiet 1-5 m³/s). Door de kleinere dimensies zal er ook minder interactie zijn met andere gebruikersfuncties gezien er een zeer lokaal effect zal ontstaan. De stuw passerende nevengeul zal (indien optimaal ontworpen) een zeer positief effect hebben op de hoeveelheid en kwaliteit van stromend habitat. Er zal geen significant effect op vismigratie zijn.

4.2.2 Stuwgeul

Stuwgeul – werking

Een nieuw bedachte mogelijkheid om het peilverschil bij de stuwen te benutten, is om de stuw zo te veranderen dat een deel van het water via een ecologisch geoptimaliseerde route loopt. De werking van een stuw is er vooral op gericht om een vast waterpeil te genereren. Het water hoeft daar niet voor te stromen. In dit concept wordt de rivier direct stroomafwaarts van de stuw over een lengte van enkele kilometers verdeeld in twee segmenten: de ene met een vast peil en de andere zo vaak mogelijk stromend. De beide segmenten zijn vanaf de stuw gescheiden door een langsdam en komen enkele kilometers stroomafwaarts weer samen.



Figuur 13: Stuwgeul ingetekend bij stuw Grave (rechts). Het water in de zuidkant van de Maas (in blauw) zal sneller stromen dan de overige Maas. De twee delen van de Maas zijn gescheiden worden door een langsdam.

De ecologisch geoptimaliseerde loop is ondieper dan het oorspronkelijke zomerbed en het stuwbeheer is zo geregeld dat bij gemiddelde en lage afvoeren dit segment een relatief groot deel van het debiet ontvangt. Bij hogere afvoeren, als de stuw steeds verder gestreken wordt, wordt het water weer evenredig over de hele bedding verdeeld.

Morfologische en hydrologische aspecten stuwgeul

De geul beslaat ca. 25% van de nieuwe breedte van het zomerbed en varieert afhankelijk van de stuw van 25 tot 45 meter, waarbij de helft al zomerbed was en de andere helft een deel van de oever dat verlaagd is tot geul. De bodem van het traject wordt verondiept tot ca. 1,5 m beneden stuwpeil om bij beperkte debieten die vaak optreden in de Maas nog voldoende stroomsnelheid te genereren.

Er zal de meeste dagen maar weinig sediment meegevoerd worden met het water dat over de stuw stroomt en dat betekent dat ook bij deze constructie de erosie een aandachtspunt is. Er zal bij een stuwgeul meer sediment worden afgevoerd dan aangevoerd, wat leidt tot nodige beheer- en

onderhoudstaken bij de stuwgeul. Het doorstroomoppervlak van de stuwgeul is breder, waardoor meer water doorgevoerd kan worden voordat kritieke waterstanden bereikt worden.

Uitgaande van een ca. 25 – 45 m brede en 1,5 m diepe geul is een debiet nodig van ca. 12,5 tot 22,5 m³/s om een stroomsnelheid te genereren van ca. 50 cm/s. Dit houdt in dat bij zeer lage Maasafvoeren (< 25 m³/s) een groot deel van het water via de stuw naar de stuwgeul gevoerd moet worden. Bij hogere afvoeren zal er steeds op gestuurd kunnen worden dat de stroomsnelheid in de stuwgeul niet te hoog oploopt, d.w.z. kleiner blijft dan 1 m/s, om erosie te beperken. Bij een Maasafvoer boven 25 m³/s kan daarom het debiet door de stuwgeul nog wel toenemen, maar zal ook een steeds groter deel via het oorspronkelijke zomerbed stromen. Een indicatieve verdeling van het water wordt in de beneden staande tabel gegeven.

Maasafvoer m ³ /s	Nodig voor sluisbeheer en lekverlies m ³ /s	Natte doorsnede stuwgeul in m ²	Via stuwgeul m ³ /s	Percentage	Stroomsnelheid in stuwgeul in cm/s	Via voormalig zomerbed m ³ /s	Percentage
25	15	35	10	40%	25 -30	0	0%
50	20	35	25	50%	50	5	10%
75	20	35	30	40%	80	25	30%
100	20	35	35	35%	100	55	55%
150	20	35	35	23%	100	95	63%
250	20	50	50	20%	100	180	72%
500	20	65	75	15%	100	415	83%
1000	Langsdam overstromd, stuwgeul een geheel met rest van het zomerbed						

Tabel 2 Verdeling afvoer stuwgeul

Dimensies stuwgeul

De dimensies van de geul zijn afhankelijk van de beschikbare breedte en het beschikbare debiet bij lage afvoeren. Een deel van het water is altijd nodig voor het schutten van schepen in de sluis en er treedt lekverlies op bij de schuiven van de stuw. Naar gelang de hoeveelheid water die overblijft kan dan voor lage debieten bepaald worden wat een geschikte breedte is zodat de geul een groot aantal dagen van het jaar voldoende snel stroomt. Een ruwe indicatie is dat, uitgaande van een geul van ca. 25% van het zomerbed, in de smalle trajecten van de Maas een breedte van 25 m mogelijk is en in de brede trajecten 45 meter. De diepte is in eerste instantie bepaald op 1,5 meter onder stuwpeil, dat is ca. 1,5 m minder diep dan de huidige Maasbedding ter plaatse.

Bijdrage aan vismigratie en aanleg van stromend habitat

Mogelijk effect op vis migratie: afhankelijk van de uitvoering is er geen effect op de vismigratie tussen verschillende stuwpannen. Alleen als ter hoogte van de stuw ook een vismigratievoorziening wordt gerealiseerd, zal de stuwgeul kunnen bijdragen aan connectiviteit. Voorkeur bestaat dan uit een Vertical slot passage aan de bovenstroomse zijde van de stuw, die uitkomt in de stuwgeul. Vergeleken met het overige deel van het zomerbed met het vaste peil zal de stuwgeul zeer aantrekkelijk werken op vis;

Aanleg stromend habitat: deze maatregel draagt in belangrijke mate bij aan het creëren van stromend habitat. Vooral bij lage afvoeren, als in dit gedeelte nog water stroomt, zijn dit de enige trajecten waar nog stromend water te vinden is. Belangrijke randvoorwaarden voor de ecologische ontwikkeling zijn een permanente stroming (ook in de zomerperiode), een diepte van ca 1 tot 1,5 m onder stuwpeil en een niet te hoge afvoer en daarmee stroomsnelheid (< 1 m/s) bij gemiddelde tot licht verhoogde afvoeren om de mate van erosie te beperken. Het substraat dat aangebracht wordt zal vrij grof zijn (grind en stenen).

Het V&R proces is de aangewezen plek om na te denken over de aanleg van de stuwgeulen . Dit gezien de hele omgeving aangepakt zal worden. Stuwgeulen zorgen voor de grootschalige aanleg van stromend habitat. De aanleg van stuwgeulen kan ook zeker zorgen voor goede publieke aandacht. Denk hierbij bijvoorbeeld aan stuw Grave.

Geschikte locaties binnen het Maasdal

In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van locaties in het Maasdal die geschikt geacht worden. De huidige stuw locaties voor Sambeek, Grave en Roermond lijken het meest geschikt voor het aanleggen van de stuwgeul.

Locatie	Oever	Lengte in km (maximaal)	Peilverschil in m	Bijzonderheden
Borgharen				Niet nodig
Heel				Geen ruimte
Linne	Rechts	1,5	4	Beperkte ruimte
Roermond	Rechts	2	2,8	
Belfeld	Rechts	1	3	Weinig ruimte
Sambeek	Rechts	4,5	3,1	Kan aansluiten op oude Maasmeander
Grave	Links	3,5	3	Kan aansluiten op bestaande eenzijdige geul
Lith				Geen ruimte a.g.v. WKC

Tabel 3: Locaties in Maasdal geschikt voor aanleg stuwgeul

Overige verwachte effecten

De stuwgeul zal geen effect hebben op waterstanden gezien alleen water wordt gebruikt dat al over de stuw valt. Er zal weinig invloed zijn op de scheepvaart gezien waterstanden en stroomsnelheid in de vaargeul niet of nauwelijks worden beïnvloed in het traject van de stuwgeul. Tevens zijn er vrijwel ook geen effecten op grondwater en op de waterkwaliteit.

De stuwgeul zal wel een effect hebben op het stuwbeheer in de toekomst. De aanleg van de stuwgeul is alleen mogelijk bij een ander type stuw dan de huidige stuwen. Waarbij er actief gestuurd kan worden om water door de stuwgeul te laten lopen.

Ontwerpeis: Onderzoek de mogelijkheid om een stuwgeul aan te leggen, met name bij de locaties Sambeek, Grave en Roermond. Een ruwe indicatie is dat, uitgaande van een geul van ca. 25% van het zomerbed, in de smalle trajecten van de Maas een breedte van 25 m mogelijk is en in de brede trajecten 45 meter. De diepte is in eerste instantie bepaald op 1,5 meter onder stuwpeil, dat is ca. 1,5 m minder dan de huidige Maasbedding ter plaatse. Creëer de scheiding tussen de Maas en de stuwgeul d.m.v. langsdammen. Om de mogelijkheid tot een stuwgeul te creëren zullen nieuwe stuwen moeten bestaan uit meerdere (minimaal twee) los opererende onderdelen. Er zal een ongelijk debiet over de verschillende van de stuwen moeten kunnen gaan zonder dat dit problemen veroorzaakt. Dit omdat de stroom condities in de stuwgeul het liefste (relatief) stabiel zijn voor ecologische ontwikkelingen in de stuwgeul.

afhankelijk van de eigendomssituatie en conditionerende zaken zoals b.v. leidingen. De mogelijkheid tot realisatie hiervan zal per stuwcomplex apart onderzocht moeten worden in een omgevingsproces.

Bij de stuwgeul zit de onzekerheid met name in de realisatie van een eerste concept. Verschillende onderdelen van dit concept zijn al bewezen in de praktijk. Zoals bijvoorbeeld het creëren van langsdammen en stuwgedelen verschillend opereren. Echter is de combinatie van verschillende

onderdelen van de stuwgeul een onbewezen concept in de praktijk. Dit kan leiden tot onzekerheden. Er kunnen zeker nog vragen worden gesteld bij de mogelijkheid om een (relatief) stabiel habitat te creëren. Echter blijkt uit de eerste resultaten met langsdammen in de Waal dat er al zeker positieve resultaten zijn t.a.v. de ecologische omstandigheden. Voor de implementatie van een stuwgeul zal zeker eerst moeten worden onderzocht wat dit betekent voor de overige ecologische ontwerpisen (natuurlijk peilbeheer, sedimentcontinuïteit en plastic-invang), en of deze verenigbaar zijn.

4.4 Belangrijke onderzoeken t.a.v. ecologisch aspect (bruikbaar planfase).

Onderzoek titel	Locatie document	Beschrijving onderzoek
Analyse stromend habitat en connectiviteit in de Maas (2021)	P:\zn\HoewerktdeMaas\3. Schoon en gezond water\Analyse connectiviteit en stromend habitat Maas\Rapport versie 3	De uitwerking van de stuwpasserende nevengeul en stuwgeul kan gevonden worden in hfs.t 5 en fst 7 van de analyse. In hoofdstuk 7 wordt een principe ontwerp geschetst voor de stuwpasserende nevengeul.

5 Peilverlaging en natuurlijke peilvariaties

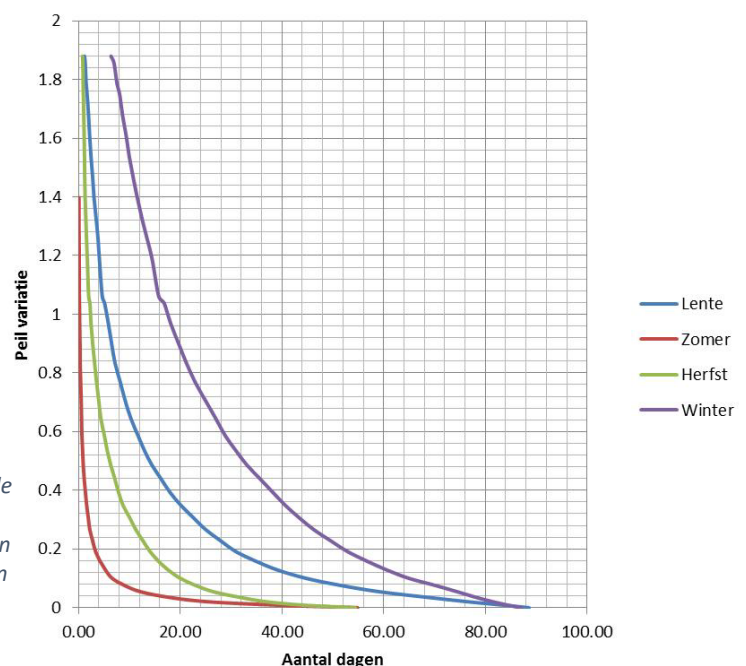
5.1 Belang element.

Het gehanteerde peil en natuurlijke variatie hierin is een belangrijke factor voor het type rivier gebonden natuur en de kwaliteit ervan. Zo hangt de plantendiversiteit op oevers sterk af van de aanwezige waterstandvariatie, zowel binnen een afzonderlijk jaar, als tussen verschillende jaren. Het ontstaan van pioniersvegetatie is hier een voorbeeld van. Deze vegetatie is sterk afhankelijk van grootschalige dynamiek zoals grote afvoeren of periodes van droogte. Periodieke droogval in uiterwaardplassen kan de kans op algenbloei verkleinen. Tevens kan een stijgende afvoer in relatie met een veranderende temperatuur een trigger zijn voor de voortplanting of migratie van aquatische soorten.

Waterstandvariatie bij de oevers, strangen en plassen zorgt voor meer verscheidenheid aan microhabitats. Sommige macrofauna en vissoorten verblijven bijvoorbeeld in strangen of plassen die alleen bij hoog water met de rivier verbonden zijn. Binnen een riviertype hebben de lokale soorten zich in de loop der tijd aan het plaatselijke afvoerregime aangepast. Verandering van deze afvoeren, zoals door verstuwung maakt het systeem minder geschikt voor lokale soorten, en meer geschikt voor exoten. Zo bemoeilijkt een vast of tegennatuurlijk peil ('s zomers hoog en 's winters laag) de ontwikkeling van rietmoeras, (Peters & Klink, 2005). Ten slotte initiëren en beïnvloeden afvoerfluctuaties de mogelijkheden voor verspreiding van soorten binnen een riviersysteem en aangetakte wateren.

Uit een hydraulische analyse van de stuwpanden Roermond, Belfeld en Lith, blijkt dat de afvoeren in grote delen van het groeiseizoen (1 april tot 1 september) zo laag zijn (debiet in de range < 200 m³/s) dat er door de werking van de stuwen vrijwel geen waterstandvariatie op treedt. De waterstandvariatie die optreedt bij hogere afvoeren (>200 m³/s) is het grootst in de bovenstroomse delen van de stuwpanden en vakt vervolgens stroomafwaarts af tot 0 cm bij de stuw. Ongeveer de helft van alle oevers ervaart geen tot een lage waterstandvariatie (0-0,3 m), de andere helft een matig tot hoge waterstandvariatie in het groeiseizoen (Geerling et al., 2010). In de herfst, winter en lente is er meer natuurlijke waterstandsvariatie vanwege de hogere neerslag frequentie maar een deel is nog steeds onnatuurlijk. (zie fig. 16) Voor de landbouw wordt het peil in de winter namelijk vaak lager gehouden zodat trekkers het land op kunnen.

Figuur 14 Voorbeeld stuwpannd Lith. Bestaande variatie van waterstanden bovenstrooms in het stuwpannd ten opzichte van de laagst voorkomende waterstand (= stuwpeil). Uitgezet is het gemiddeld aantal dagen dat het waterstandsverschil voorkomt in de vier seizoenen (op basis van afvoerstatistiek Borgharen 1911-2007). Bron: (Geerling et al., 2010).



Het vergroten van de waterstandvariatie bevordert de terugkomst van karakteristieke riviergebonden soorten die hun levenswijze hebben aangepast aan seizoensgebonden waterstandfluctuaties. Een natuurlijke variatie in peil en afvoer is belangrijk voor KRW maatlaten en PAGW doelstellingen.

Zo is in het KRW en PAGW projectgebied Meanderende Maas nu vrijwel geen rietontwikkeling voorzien omdat de huidige peilfluctuaties onvoldoende zijn. Voor het ontstaan van riet moet het peil in de nazomer met 0,5 m omlaag en in oktober/november weer omhoog. Stuwpannd Lith moet dan een peilfluctuatie kunnen handhaven van 0,5m omlaag en 0,15 m omhoog. (Bron; Werkgroep Meanderende Maas, 2021)

Specifiek voor de Grensmaas speelt er nog een ander ecologisch knelpunt waar de stuw Borgharen effect op heeft. Als gevolg van het stuwbeheer in Wallonië zijn er grote afvoerfluctuaties op het Natura2000 gebied. Binnen een paar uur kunnen debieten snel toe- en afnemen. De pieken komen dagelijks voor, soms meerdere per dag. Bij hogere afvoeren kunnen de pieken oplopen tot 300 m³/s of meer en een enkele maal is zelfs een piek waargenomen van bijna 1000 m³/s. (Vriese et al., 2021)

De stuw bij Borgharen is niet in staat om al deze schommelingen goed op te vangen. Hierdoor staat de ecologische ontwikkeling in de Grensmaas sterk onder druk. Door de variabele waterstanden en stroomsnelheden vallen groeiplaatsen droog (of lopen onder water) en spoelen dieren of net afgezette eieren weg. Er zijn maar heel weinig soorten bestand tegen dergelijke zeer onstabiele habitats (Antea Groep 2019)).

5.2 Ontwerpeisen en aspecten belangrijk bij V&R stuwen.

5.2.1 Dynamisch stuwbeheer

Werking van dynamisch stuwbeheer

Het invoeren van dynamisch stuwbeheer en de hiermee gepaard gaande vrije afstroming gedurende een langere periode, kan een belangrijke bijdrage leveren aan stromend habitat en aan visconnectiviteit in de Maas (belang is uitgelegd in H 2 en 3). In principe houdt deze maatregel in dat de stuwen gedurende een langere periode gestreken worden dan in het huidige stuwbeheer wordt gedaan. Onderstaande uitwerking komt uit de 'Analyse stromend habitat en connectiviteit Maas' (Vriese et al., 2021).

De mate van dynamisch stuwbeheer wordt bepaald door de minimaal gegarandeerde vaarwegdiepte. Momenteel wordt gewerkt om de Maas geschikt te maken voor zogenoemde tweebaksduwvaart (klasse Vb-schepen). Dat zijn schepen met een diepte van 3,5 m. Daarbij komt nog 0,50 m kielspeling + de vaardrempel bij sluisen. De minste diepte in een stuwpannd bepaalt de vaardiepte. In een stuwpannd ligt deze altijd geheel bovenstrooms, net stroomafwaarts van de hogerop gelegen stuw. In de analyse 'Stromend habitat en connectiviteit Maas' wordt uitgegaan van vaarwegklasse Va. Het vergt dus nader onderzoek om de precieze mate van dynamisch stuwbeheer te bepalen voor deze toekomstige vaarwegklassen.

Volgens de analyse kan boven een bepaalde afvoer de stuw eerder gestreken worden dan nu het geval is. Omdat in het bovenstroomse deel van het stuwpannd het waterpeil onder verhang gaat staan, stroomt er voldoende water over de stuw om het waterpeil op niveau te houden. Wanneer bij een dergelijke afvoer de stuwen worden gestreken dan gebeurt er bovenstrooms in het stuwpannd niets,

het peilstaat hier namelijk al onder verhang; verder stroomafwaarts daalt de waterstand dan, het meest in het benedenstroomse deel van het stuwpand en de hele rivier wordt dan vrij afstromend. Deze vorm van stuwbeheer wordt in Nederland al toegepast in de Nederrijn/Lek en zou ook in de Maas toegepast kunnen worden mits de stuwen daarop aangepast worden.

Het debiet waarbij de Maas voldoende water afvoert om zonder stuwbeheer de waterdiepte in stand te houden (bij huidige vaarwegklasse Va) varieert per stuw en ligt ongeveer bij 175 tot 250 m³/s. Dat betekent dat de Maas in plaats van de huidige 5 tot 10 dagen per jaar 100 tot 175 dagen per jaar vrij afstromend zal zijn. De overige dagen van het jaar zal het stuwbeheer wel nodig blijven. Afgaande op de frequentieverdeling van afvoeren > 175 m³/s blijkt dat de periode dat de stuwen gestreken zijn dan vooral in de periode van half november tot en met begin april zal liggen. In het zomerhalfjaar zijn er incidenteel dagen met een dergelijke afvoer, maar omdat het dan om korte perioden gaat zal de stuw niet worden gestreken.

Geschikte locaties

In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van locaties in het Maasdal die geschikt geacht worden voor dynamisch stuwbeheer

Locatie	Traject	Vanaf afvoer in m ³ /s	Aantal dagen gestreken huidig beheer	Aantal dagen gestreken dynamisch beheer	Bijzonderheden
Borgharen					Niet mogelijk vanwege functie t.b.v. invaren Julianakanaal
Heel					Niet gewenst, omdat dit ten kostte gaat van stroming door de Maas.
Linne	Maaseik-Linne	250	3	115	
Roermond	Linne-Roermond	250	10	115	
Belfeld	Roermond-Belfeld	200	15	160	
Sambeek	Belfeld-Sambeek	150	5	175	
Grave	Sambeek-Grave	250	5	115	
Lith	Grave-Lith	200	20	160	Er is al dynamisch beheer vanaf ca. 800 m ³ /s

Tabel 4 Geschikte locaties in het Maasdal voor dynamisch stuwbeheer. Het strijken van een stuw betekent dat het traject bovenstrooms ervan vrij afstromend wordt.

Effectiviteit en overige verwachte effecten

Connectiviteit: gedurende de periode van het dynamisch stuwbeheer is het effect op de connectiviteit maximaal. Bedenk, de stuwen zijn gestreken en de rivier is vrijafstromend. De migratiemogelijkheden zijn dan maximaal.

Stromend habitat: Afhankelijk van het stuwpand, zal het traject zo'n 30 tot 50% van de tijd vrij afstromend zijn (gebaseerd op situatie bij vaarwegklasse V4a). Dat is veel meer dan in de huidige situatie (<5%) en het levert daarom een grote bijdrage aan het voorkomen van stromend habitat. Dit geldt echter alleen voor de periode tussen half november en half april.

Waterstand: Als gevolg van dynamisch stuwbeheer zal het waterpeil dalen in de benedenstroomse helft van het stuwpand. De mate waarin varieert van stuw tot stuw, maar bedraagt minimaal 3 meter, soms meer zoals bij stuw Lith. De daling van de waterstand in dit deel van de rivier zal ook gevolgen hebben voor havens, woonboten, steigers e.d. die in wateren liggen die met de Maas verbonden zijn.

Scheepvaart: Effecten op scheepvaart klasse Vb moeten nog berekend worden. In de Analyse Stromend habitat en connectiviteit Maas is uitgegaan van klasse Va. De belangrijkste effecten voor de scheepvaart zijn dat de stroomsnelheid toeneemt wat zowel positief uitwerkt (stroomafwaarts) als negatief (stroomopwaarts). Aandachtspunt is dat de invaarhoogte van de sluisen laag genoeg moet komen te liggen om ook bij een verlaagd peil nog bevaarbaar te zijn. Of de stuw moet zodanig worden aangepast dat de schepen bij een vrij afstromende rivier de rivier zelf volgen en niet meer via de sluisen hoeven.

Grondwaterstand: Omdat de gemiddelde waterstand daalt met 1 tot 1,5 meter werkt dit door in de grondwaterstand onder de weerden van de Maas en tot verder in het achterland. Dit zal gevolgen hebben voor het landgebruik, de bodems en de natuurgebieden die afhankelijk zijn van een hoog grondwaterpeil zullen gemiddeld droger worden. Hoe groot die effecten precies zijn zal van stuwpannd tot stuwpannd verschillen.

Ontwerpeis: Zorg dat bij de revisie of bouw van stuwen Linne t/m Lith rekening wordt gehouden met de mogelijkheid om dynamisch stuwbeheer te bewerkstelligen. Hiervoor is het nodig dat er voor een stuw wordt gekozen die tijdig en met precisie kan reageren op de benodigde en voorziene afvoer van water. Bij voorkeur is de stuw op afstand bedienbaar. Maak de vaardrempels bij de sluisen laag genoeg of zorg ervoor dat schepen bij een gestreken stuw goed over de stuw kunnen passeren. Ook is wellicht meer onderhoud nodig om de vaargeul in het stuwpannd op diepte te houden. De uitwerking van het gewenste stuwbeheer en effecten op scheepvaart en op de omgeving vergt een nadere analyse per stuwcomplex.

5.2.2 Lager streefpeil

Een lager streefpeil kan leiden tot zowel meer stromend habitat als betere condities voor het ontstaan van kenmerkende oevervegetaties als rietmoeras en meer geïsoleerde plassen en poelen (t.b.v. amfibieën). Bij de maatregel dynamisch stuwbeheer is al toegelicht dat de waterdiepte van het stuwpannd afhankelijk is van de daar geldende vaarklasse. Deze wordt momenteel opgevaardeerd naar vaarwegklasse Vb waardoor de mogelijkheid om de peilopzet te verlagen beperkter is en nader moet worden uitgezocht. In de gedane studies is namelijk uitgegaan van klasse Va en een minimaal benodigd waterpeil van 4.70 (aflaaddiepte van schepen 3.20m, kielspeling 50cm en de vaardrempel 1m+NAP).

Lager peil t.b.v stromend habitat

Een lager peil ten behoeve van verbeteren stromend habitat is vooral kansrijk bij de stuwpannden Roermond en Borgharen. Door het peil te verlagen tot op het minimaal noodzakelijke zal de waterdiepte afnemen. Hierdoor zal de stroomsnelheid in het hele stuwpannd toenemen. Daarnaast zal de lengte en de kwaliteit van het stromend habitat in (nu verdrinken) beekmondungen toenemen. De stroming zal hoofdzakelijk toenemen bij hogere afvoeren en beperkt zijn in de zomer. Bij het verlagen van het stuwpeil van de stuw Roermond ontstaat een nieuw stuk vrij afstromende Maas. Dit geldt ook bij verlaging van het stuwpeil bij Borgharen, maar hier gaat het om een beperkte uitbreiding.

Lager peil t.b.v kenmerkende oevervegetatie

Naast het aspect stromend habitat is een lager peil in bepaalde periodes een zeer belangrijke voorwaarde voor het ontstaan van rietmoeras en kenmerkende vegetatietypes die onder invloed staan van de rivier. De belangrijkste missende waterstandsfluctuaties in de stuwpannden, zijn die bij lagere afvoeren die over significante perioden plaatsvinden tijdens het groeiseizoen (1 april tot 1 september). Met dit doel voor ogen zijn de meest kansrijke stuwpannden voor (tijdelijke) peilverlaging

Roermond, Belfeld en Lith (DHV 2008 Geerling, Buijse & Van Kouwen 2010). Langs andere gestuwde trajecten, met name langs de Noord-Limburgse Terrassenmaas, loopt het landschap relatief snel op. Dit betekent dat de zones waarop peilvariatie invloed heeft, in deze lopen van de Maas vaak erg beperkt zijn. (Peters et al., 2018).

Voor de verbetering van condities voor oevervegetatie is stuwpeilvariatie alleen noodzakelijk voor afvoeren lager dan 600 m³/s in het groeiseizoen. Verder is een (tijdelijke) lage waterstand bij afvoeren kleiner dan 50 m³/s in de zomer goed. Een dergelijke situatie ontbreekt in het huidige regime, waar de waterstand constant hoog wordt gehouden. Juist in de zomer is de afvoer van nature gedurende 35 van de 92 zomerdagen lager dan 50 m³/s en zou er zonder stuwen dus een zeer laag peil zijn. (Geerling et al., 2010).

Voor de oevers en de vrije afstroming van beken, is een zo laag mogelijk startpeil bij de laagste afvoeren (in de zomer) het best. Aangezien de (late) zomer de laagste afvoeren kent, zal stuwpeilvariatie in de zomer meestal het grootste effect in het hele stuwband hebben. Behalve in het groeiseizoen zou er ook meer waterstandsvariatie kunnen worden gegenereerd in de herfst, winter en lente maanden. Voor stuwband Lith is onderzocht dat het peil in de winter met 10 cm opgezet kan worden naar 5,00 + NAP om beter aan te sluiten op het natuurlijke verloop.

Op basis van een ruimtelijke analyse is vastgesteld dat variatie in peil tussen 4,70 en 5,00 m +NAP in veel gebieden voldoende is om substantiële ecologische effecten te bereiken. Een grotere speelruimte tot minimaal 0,50 m is wenselijk, maar bij veel grotere peilfluctuaties van bijvoorbeeld > 1 meter (met name dalingen) kan het juist nadelig zijn voor natuur doordat natte habitats te veel verdrogen. Het is aanbevolen om bij de herbouw van een toekomstige stuw rekening met een bredere bandbreedte voor stuwpeilvariatie. (Peters et al., 2018).

Aandachtspunten bij lager streefpeil

Er zijn een aantal aandachtspunten per stuwband gegeven in de analyse Stromend habitat en connectiviteit Maas en in het rapport Ecologische potenties van stuwpeilvariatie in de Maas:

- Borgharen: Houdt bij een lager streefpeil rekening met de invaardrempel van de sluis bij het Julianakanaal en de Zuid-Willemsvaart.
- Linne en Roermond: Gebruik door vaarklasse Va op heffen. Dit traject wordt nu alleen gebruikt door de recreatievaart en hiermee ontstaat er meer stromend habitat in het verlengde van de Grensmaas.
- Sambeek en Grave: Stuwpeil terug brengen naar het niveau van ca. 10 jaar geleden. Dit peil is ca. 30 tot 40 cm opgezet om de grondwaterstanden in de weerden van de Maas te verhogen maar heeft negatieve gevolgen voor stromende karakter, beekmondingen en kans op blauwalgen.
- Lith: Houdt bij het ontwerp van stuw Grave rekening met de optimale vaardiepte direct benedenstrooms van de stuw. Deze vaardiepte is nu de beperkende factor voor de wens om het peil in stuwband Lith te verlagen (4,50 + NAP is gewenst). De vaardiepte moet dus 20-30 cm lager komen te liggen dan nu het geval is.

Effectiviteit en overige verwachte effecten

Connectiviteit: doordat het stuwpeil lager is, zal de connectiviteit met de beken verbeteren. In de huidige situaties zijn de beekmondingen verdronken met maar nauwelijks een aanlokkende stroming voor migrerende vis. Wanneer door het lagere peil de stroming toeneemt, worden de beken weer aantrekkelijk voor migrerende vissen.

Stromend habitat: De meerwaarde speelt vooral bij de stuw van Roermond en in wat mindere mate bij de stuw van Borgharen (niet in de zomermaanden). In de overige stuwpannen kan de stroomsnelheid maar beperkt toenemen en ligt de meerwaarde vooral bij de toename van het stromend habitat in de zijbeken (beekmondingen zijn minder/ niet verdrongen).

Waterstand: De voorzieningen van (jacht)havens, woonboten, steigers e.d. in wateren die met de Maas verbonden zijn, zijn niet berekend op een lagere waterstand. Ook de waterdiepte in invaarten kan onvoldoende worden.

Scheepvaart: Effecten op scheepvaart klasse Vb moeten nog berekend worden. In de Analyse Stromend habitat en connectiviteit Maas is uitgegaan van klasse Va. Een aandachtspunt zijn de invaartdiepten bij de sluisen, met name bij het stuwpan Borgharen en Roermond kan deze te gering worden.

Grondwater: de gemiddelde waterstand in de stuwpannen daalt met ongeveer dezelfde waarde als de waterstand zelf. Dit werkt door in de grondwaterstand onder de weerden van de Maas en tot verder in het achterland.

Stuwbeheer: de meeste stuwen in de Maas kunnen zo worden bediend dat zij het lagere peil gaan handhaven. Mogelijk dat de invaardrempel van de sluisen te hoog ligt.

Waterkwaliteit: de waterkwaliteit zal verbeteren omdat de stroming in het water het hele jaar door licht toeneemt. De verblijftijd van het water in het stuwpan neemt daardoor af.

Ontwerpeis: Zorg dat bij de revisie of bouw van stuwen Roermond, Belfeld en Lith rekening wordt gehouden met mogelijkheden om het stuwpeil enigszins traploos te laten variëren bij afvoeren <math><600\text{ m}^3/\text{s}</math>. De bandbreedte voor stuwpeilvariatie is bij voorkeur binnen een range van 0,5 m naar beneden en 0,5 m omhoog t.o.v. het streefpeil. Dit betekent dat de stuw waterstandsvariatie moet kunnen bewerkstelligen in de orde van grootte van 1 meter. Voor het stuwcomplex Grave is het van belang dat er benedenstrooms voldoende vaarwegdiepte is en dat de vaardrempel voldoende diep komt te liggen zodat een lagere peilopzet bij stuw Lith geen effect heeft op de scheepvaart.

Voor de stuwpannen Roermond en Borgharen is een lager streefpeil wenselijk om meer stromend habitat te krijgen. De mogelijkheid voor lagere peilopzet moet per stuwpan worden berekend met inachtneming van de toekomstige vaarwegklasse Vb.

5.2.3 Opvangen onnatuurlijke afvoerfluctuaties

Voor de ecologische ontwikkeling van de Grensmaas is het van groot belang dat de onnatuurlijke afvoerdynamiek die ontstaat als gevolg van het stuwbeheer in het stroomgebied wordt aangepakt. Technisch gezien vraagt dit om het aanpassen van de stuwprogramma's bovenstrooms in het stroomgebied. In de analyse 'Stromend habitat en connectiviteit Maas' is uiteengezet waardoor de afvoerfluctuaties worden veroorzaakt door het stuwbeheer in België en wat er nodig is om dit te verbeteren. Dit onderwerp staat al langere tijd op de agenda van internationaal overleg met Wallonië en er zijn geruchten dat dit binnen 5 jaar wordt aangepakt. Het is echter ook mogelijk om de onnatuurlijke afvoerfluctuaties te dempen door optimalisatie van het stuwbeheer Borgharen.

Een optie om dit te bewerkstelligen en tevens beter stromend habitat te creëren is het verlagen van het stuwpeil bovenstrooms van stuw Borgharen. Dit peilverschil kan niet alleen benut worden in het

stuwpannd zelf, maar vergroot ook de bandbreedte om het peil te laten fluctueren en met deze bandbreedte kan de (extreme) schommeling in afvoer beter worden opgevangen.

De waterdiepte in het bevaarbare deel van de Maas ter hoogte van Maastricht en stroomopwaarts daarvan is ruim voldoende en kan op grond van de bodemhoogte in dit traject maximaal 50 tot 75 cm zakken (gesteld op basis van huidige vaarwegklasse Va). Het stuwpeil heeft hier echter ook een functie om de invaart van het Julianakanaal en de Zuid-Willemsvaart mogelijk te maken. Onbekend is hoeveel ruimte hier beschikbaar is voor een lager peil, bijvoorbeeld omdat de invaardrempel van de sluis dan te hoog komt te liggen. Het gevolg van een lager peil is dat aan de bovenstroomse zijde van het stuwpannd het vrij afstromende traject wat langer zal worden. Omdat de bodem hier nu een abrupte sprong maakt gaat het om een beperkte uitbreiding.

Als de extreme schommelingen in afvoeren verminderen zal dit vooral de kwaliteit van het stromend habitat verbeteren. Er ontstaat dan een veel gelijkmatiger stroombeeld waarmee de omstandigheden op een relatief groot areaal (200 ha in Grensmaas) sterk verbeteren.

Ontwerpeis: Houdt bij de renovatie van stuw Borgharen rekening met de wens om onnatuurlijke afvoerfluctuaties op te vangen. De stuw moet een lager peil kunnen hanteren en met precisie kunnen reageren op afvoerfluctuaties. Daarbij moet de omgeving (sluizen bij Julianakanaal en Zuid-Willemsvaart) geschikt worden gemaakt om te kunnen passeren met en lagere peilopzet.

5.3 Onzekerheden t.a.v. element en ecologisch aspecten, mitigatie mogelijkheden.

De belangrijkste randvoorwaarde is de bevaarbaarheid van de Maas omdat de schepen een minimaal gegarandeerde vaardiepte nodig hebben. Hier ligt gelijk ook de grootste onzekerheid omdat in de gebruikte rapporten is uitgegaan van vaarwegklasse Va terwijl de Maasroute momenteel wordt klaargemaakt voor klasse 4b. De mogelijkheid voor peilverlaging en/of dynamisch peilbeheer zal per stuwpannd berekend moeten worden en de aanpassingen die hierbij gedaan kunnen worden. Met name de benedenstroomse drempel van de sluisen in het stuwpannd zijn kritisch voor stuwpeilverlaging als er nauwelijks tot geen afvoer is (zomerperiode).

Wanneer een lager startpeil lastig is vanwege scheepvaart randvoorwaarden, dan kan het lagere peil misschien tijdelijk alleen in de zomer worden toegepast, waarbij de aanvaardbare hinder voor scheepvaart moet worden onderzocht. Het opzetten van het stuwpeil is voor de scheepvaart geen probleem maar wordt eventueel beperkt door de minimale doorvaarhoogte bij bruggen. Dit laatste is pas het geval bij hogere waterstanden (>1200 m³/s) en voor peilvariatie bij lagere afvoeren is het niet direct relevant.

Naast scheepvaart kan een lagere peilopzet een klein effect hebben op constructies voor beroeps- en pleziervaart, de bereikbaarheid van vispassages, KRW objecten (beekmondingen), waterkrachtcentrales en innamepunten van koelwater. Een mogelijk negatief effect van stuwpeilverlaging is dat dit de drinkwaterwinning uit oppervlaktewater kan bemoeilijken omdat bij lagere stuwpeilen, en hiermee gemoeide lage afvoer, de zoetwatervoorraad te laag kan blijken. De gevolgen voor de drinkwatervoorziening lijken echter beperkt bij stuwpeilvariaties van +/- 0,3 m. (Geerling et al., 2010)

Stuwpeilvariatie heeft effect op de grondwaterstanden wat weer een effect heeft op de functies landbouw, natuur en bebouwing. In de studies naar stuwpeilopzet zijn de effecten op de kwaliteit van de natuur in omliggende gebieden vrijwel altijd gering als het gaat om stuwpeilverandering van enkele decimeters (Rijkswaterstaat, 2006a+b). De landbouw gedijt het best bij een stuwpeilbeheer met lage

stuwpeilen in de winter en hogere stuwpeilen in de zomer. Dit is doorgaans tegengesteld aan de natuurlijke dynamiek van de waterafvoer en de gewenste waterstandvariatie die we vanuit ecologisch oogpunt ambiëren. Echter blijkt uit een studie dat enkele decimeters verandering nauwelijks effect zullen hebben op landbouw (Rijkswaterstaat, 2006b).

Voor het stuwpannd Lith is de verwachting dat de waterstanden in de Maas van beperkt belang zijn voor de grondwaterstanden in het omliggende gebied. Net als het westelijk deel van stuwpannd Grave worden de binnendijkse grondwaterstanden bepaald door de ontwatering in het binnendijkse gebied (Heijkoop et al., 2008; Rijkswaterstaat, 2006b). Verlaging van het stuwpeil geeft doorgaans geen effect op bebouwing maar verhoging kan leiden tot vochtproblemen in de bebouwing. De effecten op grondwaterstand dienen aan de hand van gedetailleerde berekeningen nader te worden uitgewerkt.

Bij de keuze voor verandering in het stuwpeilbeheer dient ook rekening te worden gehouden met klimaatverandering waarbij lage afvoeren vaker zullen voorkomen. Echter met voldoende flexibiliteit in het stuwbeheer kan tijdig worden gereageerd op droge periodes.

5.4 Belangrijke onderzoeken t.a.v. ecologisch aspect (bruikbaar planfase).

Onderzoek titel	Locatie document	Beschrijving onderzoek
Variabel stuwregime in het stuwpannd Lith en ecologische perspectieven voor de Hemelrijkse Waard	Puc.overheid	Verkenning naar ecologische winst als peilregime een natuurlijker karakter krijgt. Focusgebied is stuwpannd Lith. Studie geeft aan met welke peilregimes (en afgravingen) je kan sturen op bepaalde vegetatietypen (verhouding riet, moeras, wilgen, ooibos). Hierbij geeft een peilverschil van 30cm al winst, maar 0,50 cm is ecologisch beter.
Ecologische potenties van stuwpeilvariatie in de Maas	https://edepot.wur.nl/251477	Rapport verkent de mogelijkheden voor stuwpeilvariatie in de stuwpannden Roermond, Belfeld en Lith. Op basis van modelanalyses en scenario beschrijving geeft het aanbevelingen voor een ecologisch wenselijk stuwpeilbeheer en ontwikkeling van oevers.
Ecologische effect- en scenariostudie variabel stuwpeil Bedijkte Maas	Link	Studie kijkt naar 4 kansrijke en wenselijke ecologische scenario's voor een variabel stuwpeilbeheer. Anderzijds is onderzocht wat de ruimtelijke implicaties zijn van een variabel stuwpeil. Focus is traject van de Bedijkte Maas.
Analyse stromend habitat en connectiviteit in de Maas (2021)	P:\zn\HoewerktdeMaas\3. Schoon en gezond water\Analyse connectiviteit en stromend habitat Maas\Rapport versie 3	H 5.1.9 gaat over dynamisch peilbeheer en H 5.1.10 over peilverlaging.

6 Sedimentdynamiek stuwen.

6.1 Belang element.

De Maas transporteert naast water ook sediment: slib, zand en grind. De aanleg van stuwen in de Maas in de 20 eeuw door Wallonië en Nederland heeft deze natuurlijke sedimentstromen verstoord. Dit heeft verschillende negatieve consequenties voor de natuur.

In de stuwpannen vindt sedimentatie van slib plaats, waardoor grindkorrels bedekt worden met slib. Door de ontbrekende hydrodynamiek wordt dit slib ook niet meer weggespoeld. Hierdoor neemt de toevoer van zuurstof naar de rivierbodem (hyporheïsche zone) af, waardoor deze niet langer geschikt is als paaigrond voor zalmachtigen. Door de slibafzettingen gaat ook leef- en opgroeigebied van macrozoöbenthos verloren. Omdat het vaak grote aaneengesloten gebieden betreft, neemt de variatie in sedimenteigenschappen af. Daardoor voelen in dit riviertraject minder soorten zich thuis en is er een afname van de soortenrijkdom. Benedenstrooms van stuwen vindt erosie van de rivierbodem plaats. Dit vergroot het waterbergend vermogen van de hoofdgeul, waardoor uiterwaarden minder vaak inunderen en rivierbegeleidende natuur verdroogt. In de vrij afstromende trajecten (zoals de Grensmaas) daalt door de beddingerosie ook de grondwaterspiegel. Daardoor verdrogen ook natuurgebieden op grotere afstand van de rivier (o.a. Vlaamse VHR-gebieden). Als gevolg van de sedimentatie achter stuwen, neemt in de kustzone de aanvoer van vers sediment van bovenstrooms af. Een voortdurende aanvoer van sediment is echter nodig om te compenseren voor de stijgende zeespiegel. De kans bestaat dat waardevolle kustmilieus zoals de Waddenzee verdrinken.

Het moge duidelijk zijn, dat de verstoring van de natuurlijke sedimentstromen door stuwen zeer negatieve effecten heeft op de aquatische en rivierafhankelijke natuur. Een natuurlijke sedimenthuishouding is daarom van groot belang voor het halen van KRW-doelen, N2000-doelen en voor het op orde brengen van het riviersysteem in de PAGW. Daarnaast staat een gezonde sedimenthuishouding aan de basis van vele andere rivierfuncties. Daarom vormt een gezonde sedimenthuishouding ook een belangrijk uitgangspunt binnen Integraal Riviermanagement (IRM).

6.2 Ontwerpeisen en aspecten belangrijk bij V&R stuwen.

Het is essentieel het faciliteren van doorgaand sedimenttransport (sedimentconnectiviteit of sedimentcontinuïteit) als morfologische eis mee te nemen bij de vervanging/renovatie van de stuwen. Een belangrijk uitgangsprincipe zou dus moeten zijn, dat de nieuwe stuwen méér dan de oude passabel moeten zijn voor sediment. Belangrijk is dat stuwen niet alleen bij de allerhoogste maar ook bij middelafoeren doorlaatbaar zijn voor sediment. Daarbij moet niet alleen slib, maar vooral ook zand en grind de stuwen kunnen passeren. Dit streven naar sedimentcontinuïteit in de Maas is een effectieve, duurzame en toekomstbestendige oplossing voor de problemen die het gevolg zijn van de aanwezigheid van de stuwen. Het lost een belangrijk deel van de sedimentatie- en erosieproblemen op, zorgt voor een verbetering van de leefgebieden en schept zo de voorwaarde voor een herstel van de biodiversiteit. Het is een oplossing die gezien kan worden als het bestrijden van het probleem aan de bron en die past binnen het principe "Building with Nature". Daarmee is het een veelbelovend beheersinstrument voor rivierbeheerders. Wel dient men alert te zijn op negatieve bijwerkingen, zoals in het geval van chemisch verontreinigde sedimenten.

Uit het streven naar sedimentcontinuïteit volgen 1) eisen aan het stuwontwerp en 2) eisen aan het stuwbeheer. Beide zijn niet los van elkaar te zien, aangezien het stuwontwerp mede de stuwbeheermogelijkheden bepaalt. Als het niet mogelijk is de stuwketen voldoende passabel te

maken voor sediment, kunnen mitigatiemaatregelen, zoals sedimentsuppletie en het spoelen van stuwpannen, de negatieve effecten van de stuwen compenseren. Zulke mitigatiestrategieën moeten nu al ontworpen worden.

Ontwerpeis: Maak de stuwen niet alleen bij hoge afvoeren doorlaatbaar voor sediment maar ook bij middelaafvoeren. Streef naar sedimentcontinuïteit. Een stuw met een onderlaat waarbij de drempel zo laag mogelijk ligt is hierbij het uitgangspunt. De ontwerpeisen moeten verder worden uitgewerkt in een vervolgonderzoek.

6.3 Onzekerheden t.a.v. element en ecologisch aspecten, mitigatie mogelijkheden.

Belangrijk is het besef dat veel sediment-gerelateerde problemen in rivieren alleen op stroomgebiedsniveau opgelost kunnen worden. Rivierhersteloperaties vereisen daarnaast een gefundeerde kennis van de sedimenthuishouding van de rivier, waarvoor een gedetailleerde sedimentbalans op stroomgebiedsniveau onontbeerlijk is. Nog niet alle kennis van het sedimentaspect is voorhanden. Er zijn strategische, verkennende en ontwerp vragen omtrent kennis die nodig is voor een goede en tijdige integratie in het V&R proces. Hieronder zijn de onderzoeksvragen opgenomen die direct van toepassing zijn op het ontwerp van de stuwen.

Stuwontwerp, stuwbeheer en mitigatiemaatregelen:

- Wat is het ideale stuwontwerp voor sedimentcontinuïteit (type onderlaat)?
- Hoe hoog mag de drempel zijn om doorgaand sedimenttransport niet te belemmeren?
- Welke vorm van de drempel is optimaal?
- Welk stuwbeheer bevordert de doorvoer van sediment, ook bij middenafvoeren?
(Stuw als onderlaat bedienen in plaats van overlaat?)

Met financiering vanuit V&R Stuven kunnen de eco-morfologische kennisvragen naar de stuwen opgepakt worden binnen het *Onderzoeksprogramma Morfologie Maas (2020-2024)* en het *Onderzoeksprogramma Ecologie Grensmaas (vanaf 2022)*. De meer strategische vragen kunnen opgepakt worden in samenwerking met IRM en PAGW of in het nieuwe INTERREG-project MICCA.

6.4 Belangrijke onderzoeken t.a.v. ecologisch aspect (bruikbaar planfase).

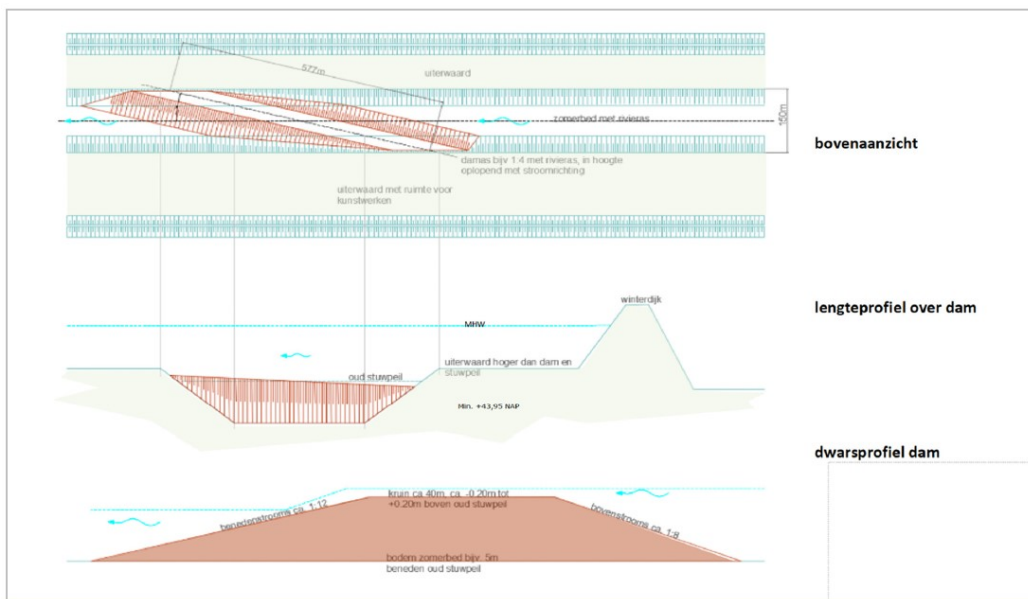
Onderzoek titel	Locatie document	Beschrijving onderzoek
Verslag Expertsessie Stuven & Morfologie (incl. bijlagen).	Link share	Verslag van een workshop waarin Nederlandse experts hebben geïnventariseerd welke ontwerpeisen zouden moeten gelden voor stuven
Sedimentcontinuïteit als uitgangspunt voor rivierbeheer	Link share	Geeft belang aan van sedimentcontinuïteit
Ontwikkelpad Rivierbodembodem en Sedimenthuishouding Maas	Contactpersoon Hans Leushuis	Visiedocument van RWS-ZN dat het gewenste ontwikkelpad voor de rivierbodembodem en sedimenthuishouding schetst. Daarin vormt doorgaand sedimenttransport een centraal element.

7. Het stuwdam concept

7.1 De werking van het concept

Een ouder concept dat recent opnieuw onder de aandacht is gebracht, is de zogenaamde rivierdam. Deze constructie bestaat uit een stenen dam die in het zomerbed van de rivier ligt en de bedding grotendeels afsluit. De dammen liggen diagonaal in het zomerbed van de Maas, om zo een grote overloop lengte te verkrijgen en peilvariatie te verminderen. De kruin is breed en de taluds zeer flauw. Ze sluiten ter weerszijden van het zomerbed aan op de uiterwaarden. Deze uiterwaarden liggen hoger dan het (huidige) keerpeil en kunnen ruimte bieden aan sluisen, vistrappen e.d. De kruinhoogte van de nieuwe dam ligt net iets lager dan huidig stuwpeil, maar de kruin loopt vanaf bovenstrooms langzaam op tot benedenstrooms net boven huidig stuwpeil, bijv. orde -20 cm tot +20 cm. De constructie zal evenals de huidige stuwen, om de bevaarbaarheid te garanderen, voor voldoende opstuwung en daarmee peilverhoging moeten zorgen. Dat betekent voldoende peilopzet tot aan de volgende rivierdam in stroomopwaartse richting. Het is mogelijk om meer rivierdammen aan te leggen in het traject, waardoor de lengte van de stuwpannen afneemt en een rivierdam kan dan lager blijven dan bij een grote afstand tussen de rivierdammen.

De stenen dam vervangt de stuw en het stuwbeheer is hiermee overbodig geworden. Wel zijn er sluisen nodig om de scheepvaart rond de rivierdam te kunnen leiden. Bij meer rivierdammen, dan het huidige aantal stuwen, betekent dat dan ook meer sluiscomplexen.



Figuur 15 Ontwerptekening van een rivierdam in bovenaanzicht, vooraanzicht en zijaanzicht.

7.2 Hydrologische aspecten

De kruinhoogte wordt zo gekozen dat bij zeer lage afvoer de peilen gelijk zijn aan huidig, daarmee wordt de vaardiepte voor de scheepvaart gegarandeerd. Met toenemende afvoer neemt het bovenstroomse waterpeil toe tot hoger dan huidig. Dit kan gaan om enkele decimeters tot orde 1.40 m peilstijging bij afvoeren rond en boven de 750 m³/s (ca 25 dagen per jaar). Bij nog verdere stijging van de afvoer, zoals bij huidig strijken van de stuwen, is de overlaat verdrongen en biedt deze steeds minder weerstand. Bij maatgevend hoogwater is de weerstand van de vaste dam vrijwel verdwenen en wordt hoogstens enkele cm peilstijging veroorzaakt. Er kan ontworpen worden zonder peildalingen, zoals in het belang van scheepvaart. Net zoals nu wijkt scheepvaart uit de hoofdstroom

naar schutsluis in een bypass door de uiterwaard. De peilverhogingen zijn door de stuwkromme net bovenstrooms van de voorgestelde dammen het grootste en kunnen daar belangrijke effecten veroorzaken.

Als er gekozen wordt voor meer dammen dan het huidige aantal stuwen, dan kunnen de dammen lager blijven en neemt het opstuwende effect bij hoge afvoeren ook af. De dam is zo geconstrueerd dat er altijd water over heen stroomt. Bij lage afvoeren is dat over slechts een beperkte breedte van ca 50 meter, bij hogere afvoeren toenemend tot de breedte van het hele zomerbed. De stroomafwaartse zijde van de dam is zo geconstrueerd dat er geen overstort plaats vindt, maar een soort van forse stroomversnelling. Bij een groter aantal rivierdammen dan het huidige aantal stuwen zal de stuwhoogte bij een dam lager zijn dan de huidige hoogte bij een stuw. Dit betekent ook dat er minder water nodig is bij het sluisbeheer.

Locatie	Mogelijk	Bijzonderheden
Borgharen	ja	Alleen dam nodig. Sluis ligt in het Julianakanaal
Heel	Niet nodig	Gecombineerd met Linne
Linne	ja	Alleen dam nodig. Sluis ligt in het Lateraalkanaal.
Roermond	ja	
Belfeld	ja	
Sambeek	ja	
Grave	ja	
Lith	ja	

Tabel 5 Geschikte locaties in het Maasdal voor de aanleg rivierdam.

7.3 Effect op ecologische aspecten

- Connectiviteit: met name in stroomafwaartse richting verbetert de situatie omdat er geen waterval meer is waarin vissen beschadigd raken en gedesoriënteerd, maar een stroomversnelling, die de vissen eenvoudig kunnen passeren. In stroomopwaartse richting is de stroomsnelheid waarschijnlijk te groot voor de meeste vissen om de dam te passeren;
- Stromend habitat: als gevolg van de rivierdam neemt het gestuwde karakter van de rivier niet af, maar juist toe. Bij de hogere afvoeren neemt het waterpeil stroomopwaarts van de stuw namelijk sterk toe, tot ca 1,4 m bij afvoeren tussen 750 en 1.350 m³/s. Dit betekent dat de weinige dagen met enige stroming, die er in de gestuwde Maas zijn, nog verder in aantal afnemen.
- Sedimenttransport: vanwege het hogere waterpeil bij de hogere afvoeren neemt de stroomsnelheid af en daarmee de capaciteit voor de Maas om grover sediment te transporteren. Ook is met een stuwdam geen onderlaat mogelijk die sediment doorlaat zoals nu wordt voorgesteld in hoofdstuk 5 van deze memo om sediment continuïteit te bevorderen.
- Natuurlijke peilfluctuaties en opzet: Als gevolg van de rivierdam neemt in het bovenstroomse stuwpand de waterdiepte bij de licht verhoogde tot verhoogde afvoeren sterk toe. Dit zorgt dan voor het eerder en vaker overstromen van de uiterwaarden, met name in de benedenstroomse helft van het stuwpand. Het peilbeheer aanpassen ten behoeve van natuurlijke processen is niet regelbaar met een stuwdam.

7.4 Overige effecten

- Scheepvaart: de minimale vaardiepte zal niet veranderen omdat de rivierdam erop gericht blijft om die in stand te houden. De belangrijkste effecten voor de scheepvaart zijn dat de stroomsnelheid

afneemt bij licht verhoogde tot verhoogde afvoeren, wat zowel positief uitwerkt (stroomopwaarts) als negatief (stroomafwaarts). Een ander effect is dat de schuthoogte gemiddeld hoger zal zijn. De opstuwung bij de verhoogde afvoeren is er namelijk alleen in het benedenstroomse deel van het stuwpand;

- Grondwater: omdat de gemiddelde waterstand in het benedenstroomse deel van het stuwpand stijgt, met naar schatting enkele decimeters tot een halve meter werkt dit door in de grondwaterstand onder de weerden van de Maas en tot verder in het achterland. Het gaat hierbij om een effect waarbij situatie verder af komt te staan van de natuurlijke situatie;

- Stuwbeheer: het huidige stuwbeheer is niet meer nodig en het enige beheer dat resteert is het sluisbeheer. Dit verandert niet veel, behalve dat de schuthoogte toeneemt bij (licht) verhoogde afvoeren;

- Waterkwaliteit: de waterdiepte in het stuwpand neemt gemiddeld toe. Dit speelt echter vooral bij de wat hogere afvoeren als er al voldoende doorstroming zal zijn. De effecten op de waterkwaliteit zijn daarom klein.



Figuur 16: Foto-impressie van een rivierdam ter hoogte van Grave. De stuw is verwijderd en in plaats daarvan ligt een stenen dam (bron: Alers Design).

7.5 Resterende onderzoeksvragen

Gezien de effecten op de ecologische aspecten die we juist in deze memo agenderen om te verbeteren, lijkt een rivierdam niet de meest optimale keuze. Desondanks is het belangrijk om alvorens de planfase te starten een goede afweging te maken voor ofwel een rivierdam ofwel een geoptimaliseerd stuwcomplex. In deze overweging moeten de effecten op de ecologische aspecten goed worden meegenomen en verder worden uitgediept.

8. Conclusies en aanbevelingen.

In de conclusies wordt een overzicht gegeven van de ontwerpeisen die per stuwaspect van belang zijn. Ze zijn ondergebracht in de aspecten monitoring, ruimtelijke reservering, ontwerp en beheer en onderhoud. Alvorens deze ontwerpeisen in het V&R proces worden opgenomen zal er eerst een weloverwogen keus moeten worden gemaakt tussen de voorkeur voor een stuwdam of een modernere versie van een stuwcomplex. De effecten op ecologische aspecten en op overige functies zijn in hoofdstuk 6 verkend op basis van de Analyse stromend habitat en connectiviteit Maas en nieuwe inzichten voortkomend uit deze memo. Met name voor sedimentcontinuïteit, natuurlijk peilbeheer en stromend habitat is een stuwdam in deze memo als onvoldoende faciliterend bevonden. Ook zal een vuil-invangsysteem moeilijker te bewerkstelligen zijn bij een rivierdam met het oog op verankering aan een complex en/of een goed gepositioneerde mobiele installatie. Omdat dit concept nog steeds onderwerp van discussie is, is het aan V&R om de voor- en nadelen goed tegen elkaar af te wegen en eventueel een onderzoek in te stellen naar de precieze effecten van een rivierdam op overige functies en de omgeving. De openstaande onderzoeksvragen m.b.t. alle ecologische aspecten zijn ondergebracht in een tabel aan het einde van dit hoofdstuk.

8.1 Interactie tussen maatregelen

Tussen een aantal maatregelen bestaat interactie. Dynamisch stuwbeheer is van invloed op heel wat maatregelen omdat de rivier dan een groot deel van het jaar vrij afstroombaar is (nov-april) en het peil lager ligt. Vispassages, de stuwpasserende nevengeul en de stuwgeul zijn echter nog steeds noodzakelijk bij dynamisch stuwbeheer voor de overige periode van het jaar. Bij een lager peil moeten ook de ingangen hiervan lager liggen.

Ook kan er interferentie optreden tussen vispassages en een stuwpasserende nevengeul. Het debiet dat door de nevengeul gaat, passeert niet over de stuw waarmee de aantrekkelijke werking aldaar minder kan worden en de nieuwe vispassage mogelijk minder goed kan worden gevonden. Een en ander is natuurlijk afhankelijk van de omvang van het debiet door de nevengeul en de exacte ligging van de benedenstroomse monding van de nevengeul. Hetzelfde geldt ook voor de aanleg van een stuwgeul (onttrekt ter plaatse ook debiet) terwijl deze niet bijdraagt aan de vismigratie (zoals een stuwpasserende nevengeul wel kan doen). Door de aanleg van een extra vispassage in de stuwgeul ter hoogte van de stuw kan de vismigratie ter plaatse toch gegarandeerd worden.

Een stuwgeul en een onderlaat voor sedimentdoorgang zijn wellicht moeilijk verenigbaar omdat een stuwgeul traject achter de stuw verondiept is. Hierdoor zal het water niet onderlangs maar eerder door het midden of over de stuw worden gestuurd. Doordat de bodem van een stuwgeul is verondiept zal ook dynamisch peilbeheer en peilverlaging van het betreffende stuwpland maar ook het stroomafwaartse stuwpland hier meer invloed op uitoefenen dan bij het normale riviertraject. Een onderlaat voor meer sedimentdynamiek zal vrijwel geen andere maatregelen hinderen maar zal beperkt effect hebben op stuwpasserende nevengeulen en stuwgeulen wanneer de drempels en bodems hiervan te hoog liggen.

Bij de keuze voor maatregelen moeten deze goed op elkaar worden afgestemd.

8.2 Monitoring:

De (deels gecombineerde) monitoring van plastic/zwerfvuil en vismigratie kan kosteneffectief geïmplementeerd worden in het stuwontwerp. Voor de monitoring van zwerfvuil is het aanbevolen

dat V&R bij de verschillende stuwen in het ontwerpproces rekening houdt met de aanleg van camera's (mogelijk twee), die met een hoge resolutie, de doorstroom van drijvend oppervlakte plastic kunnen filmen. De camera's zouden mogelijk bovenop de besturingspost geplaatst kunnen worden, of op de hoger gelegen delen van de stuw. Dit moeten plekken zijn waar de scheepvaart geen last heeft de aanleg gedurende het strijken van de stuwen en de camera's niet onder water kunnen komen (hoger gelegen camera's).

Bij elke stuw is het van belang dat er telemetriedata van vismigratie wordt verzameld. Hiervoor is het nodig dat er bij de vispassage, stuw en schutsluizen afzonderlijke detectie stations worden geplaatst. Zorg ervoor dat bij de aanleg van dergelijke stations onderscheid gemaakt kan worden in de herkomst van stroomopwaarts of stroom afwaarts migrerende vissoorten. Dit is een tekortkoming in het huidige systeem. Denk in de ontwerp fase van de (indirecte) omgeving van een stuw na over opties voor bovenstroomse detectie stations. Dit zijn lastige locaties om reparaties of onderhoud uit te voeren. Indien er gekozen kan worden voor een bijpassend systeem om de stations te onderhouden, dan zou dit kunnen schelen in data doorloop en onderhoudskosten.

8.3 Ruimtelijke reservering

Bij de positionering van de stuw moet in de omgeving rekening worden gehouden met toekomstige ontwikkelingen en uitbreiding van het stuwcomplex.

Bij het ontwerpen van het stuwcomplex moet rekening worden gehouden met een ruimtelijke reservering van:

- *Vaste/mobiele invang installaties inclusief opslag;*
- *Een of twee vistrappen;*
- *Aanleg mogelijkheid voor een stuwpasserende nevengeul;*
- *Aanleg mogelijkheid voor een benedenstroomse stuwgeul*

Uit nader onderzoek moet nog bepaald worden bij welke stuwcomplexen het beste een invanginstallatie voor zwerfvuil kan worden geïntegreerd. Een dergelijke installatie kan mobiel zijn, of kan mogelijk verankerd worden aan stuwcomplex. De stuwen Borgharen, Linne, Roermond en Lith lijken het meest kansrijk om effectief plastic af te vangen. Indien gekozen wordt voor een mobiele installatie moet er voldoende ruimte worden gereserveerd aan de zijkant van het stuwcomplex (10 meter). De definitie van 'voldoende' ruimte dient nader bepaald te worden in een aanvullende verkenning in samenhang met lopende programma's/pilots Ook moet er ruimte gereserveerd worden op de oever voor een afvalcontainer die geleegd kan worden door een aannemer.

Bij het stuwcomplex moet voldoende ruimte gereserveerd worden voor een vistrap en bij voorkeur een dubbele vistrap (met twee ingangen aan weerszijden) indien er een stuw geplaatst wordt met aan weerszijde een WKC of schutsluis. De integratie van een vistrap moet aan het begin van het ontwerpproces worden meegenomen zodat een slimme keuze wordt gemaakt m.b.t de positionering.

Met name bij de locaties Sambeek, Grave en Roermond moet rekening worden gehouden met de aanleg van een stuwgeul achter de stuw. De scheiding tussen de Maas en de stuwgeul wordt gecreëerd d.m.v. langsdammen. Een ruwe indicatie is dat, uitgaande van een geul van ca. 25% van het zomerbed, in de smalle trajecten van de Maas een breedte van 25 m mogelijk is en in de brede trajecten 45 meter. De diepte is in eerste instantie bepaald op 1,5 meter onder stuwpeil, dat is ca. 1,5 m minder dan de huidige Maasbedding ter plaatse. Daarnaast moet de mogelijke aanleg van een stuwpasserende nevengeul voor elk stuwcomplex (behalve Borgharen en Roermond want die zijn er al) worden onderzocht. De lengte is per stuwpaand aangegeven in H 4.2.2 en de breedte zal liggen tussen de 5 en

7 meter. Houdt daarbij ook rekening met de nodige oeverbegroeiing (voor schaduwvorming) en met het eventuele aantakken van stilstaande wateren.

8.4 Ontwerp stuw

8.4.1 Opererend systeem

Voor diverse ecologische aspecten is het van belang dat verschillende delen van de stuw automatisch en op afstand bestuurd kunnen worden. Voor een optimalere vismigratie is het van groot belang dat er gestuurd wordt op een optimale migratielinielijnt t.a.v. aanwezige vistrap(pen). Dit is van belang om de optimale lokstroom condities te creëren i.c.m. de vispassages. Hiervoor moeten er minstens 2 tot 3 los bestuurbare delen in de stuw zijn geïntegreerd. Deze ecologische eis om verschillend opererende stuw delen te hebben valt samen met de ecologische eis voor een stuwgeul achter de stuw. Om de mogelijkheid tot een stuwgeul te creëren zullen nieuwe stuwen moeten bestaan uit meerdere (minimaal twee) los opererende onderdelen. Er zal een ongelijk debiet over de verschillende van de stuwen moeten kunnen gaan zonder dat dit problemen veroorzaakt. Dit omdat de stroom condities in de stuwgeul het liefste (relatief) stabiel zijn voor ecologische ontwikkelingen in de stuwgeul.

Ook voor natuurlijk peilbeheer is het van groot belang om beweegbare delen te incorporeren in het stuwcomplex. Het ontwerp van de stuwen Roermond, Belfeld en Lith moet kunnen voorzien in een mogelijke peilvariatie met een bandbreedte van bij voorkeur 0,5 m naar beneden en 0,5 m omhoog t.o.v. het streefpeil. De variatie moet enigszins traploos kunnen variëren bij afvoeren <math><600\text{ m}^3/\text{s}</math>. Hiervoor is het nodig dat de stuw dergelijke bediening toelaat, op afstand bedienbaar is en binnen de beoogde ranges. Dit zal alleen kunnen indien er een schuifklep of dergelijk systeem geïnstalleerd wordt dat met enige precisie, tijdig (binnen aantal uur) kan reageren, dan wel anticiperen, op verandering in de Maas afvoer. Voor stuw Borgharen is het ook van belang dat deze een lager peilbeheer kan hanteren en de peilfluctuaties vanuit België kan opvangen door tijdig en met precisie de afvoer te reguleren.

Het incorporeren van een modulair systeem waarin twee of meer stuw delen onafhankelijk van elkaar bediend kunnen worden lijkt dus zeker een voordeel te hebben. Dit gezien er verschillende aanpassingen gemaakt kunnen worden om de ecologische situatie te verbeteren.

Voor sediment continuïteit is het van groot belang dat er gekozen worden voor een stuw met een onderlaat waarbij de drempel zo laag mogelijk ligt. Niet alleen bij hoge afvoeren moet het sediment kunnen doorvoeren maar ook bij middenafvoeren. Deze ontwerpeisen moeten verder worden uitgewerkt in een vervolgonderzoek.

8.4.2 Vorm van het ontwerp

In het ontwerp proces van toekomstige stuwen moeten turbulente zones voor de overlaat van een stuw worden vermeden. De stroomsnelheid dient in de stromingsrichting geleidelijk toe te nemen (bij voorkeur: 1 m/s per m). Bij voorkeur is sprake van een lange overlaat met een helling rond 30°. De overstortende straal over een overlaat moet voldoende dikte hebben. Dit pleit voor een getrapte overlaat of een v-vormige overlaat, zodat ook bij lage afvoeren de waterlaag zo dik mogelijk blijft. Het verdient aanbeveling om eventuele ontwerpen te modelleren met CFD zodat zones met turbulentie en shear al in de ontwerp fase opgespoord kunnen worden en door eventuele aanpassingen zoveel

mogelijk worden vermeden. Dit zal, in combinatie met een ruime woelbak, zorgen voor een optimale stroom afwaartse migratie (snelle, schadevrije migratie).

De woelbak moet voldoende gedimensionaliseerd zijn om de turbulente energie uit te doven en ervoor te zorgen dat er geen indirecte sterfte plaatsvindt. Het is hierbij aan te raden de woelbak te over dimensioneren gezien de gemiddelde afvoeren hoger kunnen uitvallen door klimaatsverandering.

8.4.3 Ontwerp van vaardieptes en vaardrempel

Om een natuurlijke peilopzet na te streven is het van groot belang om bovenstrooms van ieder stuwpaand voldoende vaardiepte te garanderen zodat een lagere peilopzet van het stuwpaand benedenstrooms geen effect heeft op de vereiste vaardiepte. Dit is met name van belang benedenstrooms van stuwcomplex Grave. Hierbij moet ook de vaardrempel voldoende diep komen te liggen zodat een lagere peilopzet door stuwpaand Lith mogelijk wordt (zeer belangrijk voor rietontwikkeling Bedijkte Maas). Ook voor de stuwpaanden Roermond en Borgharen is een lagere peilopzet wenselijk om meer stromend habitat te krijgen. De mogelijkheid hiertoe en benodigde diepte van vaardrempels en verdieping bovenstrooms in het stuwpaand moet worden berekend met inachtneming van de toekomstige vaarwegklasse Vb. Met name bij Borgharen is het nodig de sluizen bij Julianakanaal en Zuid-Willemsvaart geschikt te maken voor het passeren met een lagere peilopzet.

8.5 Beheer en onderhoud:

In het ontwerp van de stuw is het belangrijk om zicht te hebben op het toekomstige beheer en onderhoud zodat bepaalde onderdelen op de juiste plekken worden gepositioneerd en het onderhoud veiliger en kosten efficiënt kan gebeuren. Een vuil-invang installatie zal vaak moeten worden gelegegd en het is van belang dat dit ook bij hoogwater veilig kan gebeuren. De installatie moet ofwel met een slimme constructie aan de stuw zijn verankerd waarbij die met een automatisch systeem uit het water kan worden getild of een mobiele installatie die aan de zijkant kan worden gelegegd. Idealiter is het een systeem waarbij organisch materiaal in de rivier blijft of dat het wordt teruggestort. Beide constructies vragen om nader onderzoek om de technische eisen te specificeren. Ook de monitoring van zwerfvuil (camera's en/of sonar) zal af en toe onderhouden moeten worden of gerepareerd. Zorg ervoor dat deze op een logische en bereikbare plek worden gepositioneerd. Bij de vistrappen is het van belang dat er periodiek onderhoud plaats vindt. Het meest logische is als dat samenvalt met onderhoud aan de stuwen.

Indien er een stuwgeul wordt aangelegd achter een stuw zal dit leiden tot extra onderhoudstaken gerelateerd aan een mogelijke negatieve sediment balans (erosie van / in de stuwgeul) Er zal de meeste dagen maar weinig sediment meegevoerd worden met het water dat over de stuw stroomt en dat betekent dat bij deze constructie de erosie een aandachtspunt is. Er zal bij een stuwgeul meer sediment worden afgevoerd dan aangevoerd, mogelijk kan dit worden aangevuld met supplementies. Hetzelfde geldt ook voor een stuwpasserende nevengeul.

Voor het hanteren van een lager waterpeil zal er wellicht meer onderhoud nodig zijn om de vaargeul in het stuwpaand op diepte te houden. De uitwerking van het gewenste stuwbeheer en effecten op de omgeving vergt een nadere analyse per stuwcomplex.

Ontwerpeis	Element 1 Vuil en plastic invang	Element 2 Vis passeerbaarheid	Element 3 Stromend habitat	Element 4 Variatie & opzet stuwpeil	Element 5 Sedimentdynamiek
Monitoring	Plaatsing van (2) camera's en/of sonarinstallatie	Telemetrie data onder stuw, in vispassage en in schutsluis	Meerwaarde stromend habitat monitoren		
Ruimtelijke reservering	Ruimte nader te bepalen (vaste constructie aan stuw, aan zijkant stuwcomplex en op oever)	Ruimte voor één of dubbele vistrap bij stuwcomplex.	Stuwgeul achter de stuwen Sambeek, Grave en Roermond Stuwpasserende nevengeul (Alle stuwcomplexen behalve Borgharen en Roermond)	Voldoende vaarwegdiepte achter stuw Grave.	-
Ontwerp	Moet nader bepaald worden (technische studie)	Afzonderlijk beweegbare stuw delen Op afstand bedienbaar Lange getrapte of V-vormige overlaat met een helling rond 30°. Ruimte woelbak	Afzonderlijk beweegbare delen Op afstand bedienbaar Met precisie bedienbaar	Afzonderlijk beweegbare delen Op afstand bedienbaar Met precisie bedienbaar Vaarwegdrempel laag	Stuwtype met een onderlaat Drempel zo laag mogelijk Uitwerking door onderzoek
Beheer onderhoud	Invanginstallatie logisch en goed bereikbaar positioneren Camera's en/of sonar moet bereikbaar zijn voor onderhoud.	Onderhoud stuwen tezamen met onderhoud vistrappen	Erosie in de stuwgeul, mogelijk suppleren.	Voldoende vaarwegdiepte behouden achter stuwcomplex	

8.6 Benodigde verkenningen en onderzoeken

Hieronder is een overzicht gegeven van de benodigde studies en verkenningen om de ecologische aspecten goed te kunnen borgen in het toekomstige stuwontwerp. Kennis uit deze onderzoeken is nodig voor een optimaal ontwerp van het stuwcomplex en zodat de ontwerpisen aan de voorkant worden meegenomen. De verwachting is dat een deel van deze studies opgepakt kunnen worden in de aanloop naar de planfase van het V&R proces. Tegelijkertijd kunnen deze onderzoeken worden uitgezet door afdelingen binnen RWS ZN of RWS WV. Het is zaak om zo snel mogelijk met deze studies te starten zodat de uitkomsten meegenomen kunnen worden in het ontwerpproces en de opkomende beslis momenten.

Onderdeel	Doel	Omschrijving
Vuil en plastic invang	Bepaal bij welke stuw/stuwen een invanginstallatie het meest effectief zal zijn.	Voer een kort (1-jarige) monitoringsonderzoek uit naar drijvend plastic in de Maas in de maanden met hoogwaterafvoer (dec-jan).
Vuil en plastic invang	Bepalen of plastic meten in de waterkolom met sonartypen/multibeam installatie (verankerd aan de stuw) wenselijk/haalbaar is.	Verken de mogelijke implementatie van sonartechniek verankerd aan de stuw.
Vuil en plastic invang	Verken de toepasbaarheid, efficiëntie en bijhorende kosten van een vaste installatie versus de mogelijkheden tot een mobiele installatie te verkennen.	Laat een technische studie uitvoeren naar mogelijke vaste invanginstallaties en de bijbehorende ontwerpisen. Afhankelijk van deze uitkomsten een opvolgend onderzoek naar mobiele vang installaties. Ga in de studie uit van de relevante debieten en neem ook mee hoe wegvangen van organisch materiaal kan worden vermeden.
Visconnectiviteit	Maximaliseren gebruik vistrap (viz. 'lokstroom')	Literatuur onderzoek naar de abiotische factoren die gebruikt kunnen worden om het gebruik van een vistrap door migrerende vis te maximaliseren (bijv. stroomsnelheid, water temperatuur) en hoe vissen actief geweerd kunnen worden van het sluiscomplex (bijv. stroboscoop lichten, bubbelschermen).
Stromend habitat	Creatie van paaiplekken voor reofiele vissen stroomafwaarts van stuwen	Werk de aanleg van een paaiplek (grindig substraat) stroomafwaarts van de stuw uit en neem de implicaties voor andere functies in ogenschouw. .
Stromend habitat	Aanleg van stuwpasserende nevengeul en/of stuwgeul bij stuw.	Werk de toepassing van een stuwpasserende nevengeul en/of stuwgeul verder uit in een omgevingsproces vanwege de ruimtelijke implicaties.
Natuurlijk peilbeheer	Optimaal dynamisch peilbeheer instellen en de peilopzet verlagen waar het kan.	Verken per stuwband in welke mate dynamisch peilbeheer mogelijk is en wat de minimale peilopzet kan zijn bij vaarwegklasse Vb (of wat er nodig is om deze te kunnen verlagen) Check bij stuwbanden Lith/Roermond of Vaarwegklasse Va mogelijk kan vervallen. Ook wat zijn de effecten op de omgeving (landbouw / inlaatwerken etc).
Sedimentdynamiek	Realiseren sedimentcontinuïteit in de Maas t.b.v. erosie en creatie (divers) stromen de habitat.	Specificeer de eisen aan het stuwontwerp die nodig zijn voor sediment continuïteit; Stuw met onderschuif, optimaal beheer van de schuif, de optimale vorm en hoogte van de drempel.

9. Referenties

Antea Groep. Watersysteemanalyse Maas. projectnummer 0434242.100 concept 9 december 2019. Opdrachtgever Rijkswaterstaat

Broere, Sophie. "The Sound of Plastic: A proof-of-concept for detecting suspended riverine macroplastics with echo sounding." (2020).

DHV, 2008. Oriënteringsonderzoek Variabel Stuwen Maas. Inclusief deelverkenningen extra bufferen en natuurlijker peilbeheer. Uitgegeven door Rijkswaterstaat Dienst Limburg, Maastricht, 53 pp.

DHV, 2008. Oriënteringsonderzoek Variabel Stuwen Maas. Inclusief deelverkenningen extra bufferen en natuurlijker peilbeheer. Uitgegeven door Rijkswaterstaat Dienst Limburg, Maastricht, 53 pp.

DWA, 2005. Fish protection technologies and downstream fishways. Dimensioning, design, effectiveness inspection. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Theodor-Heuss-Allee 17. 53773 Hennef, Duitsland.

Frings R., Maaß A.L., 2021 Sedimentcontinuïteit als uitgangspunt voor morfologisch rivierbeheer. Gebaseerd op het artikel "Sediment continuity as a guiding principle for river basin management – Are we on the right track?" dat in 2017 is gepubliceerd in *Hydrologie & Wasserbewirtschaftung* (vol. 62-4, pp. 257-270; DOI: 10.5675/HyWa_2018,4_3

Frings F., 2021. Verslag Expertsessie Stuwen & Morfologie (incl. bijlagen). Datum bespreking 21 april 2021. Rijkswaterstaat Zuid-Nederland.

G. Geerling, T. Buijse, L. van Kouwen, 2010. Ecologische potenties van stuwpeilvariatie in de Maas. Deltares. Doc nr: 1202598-001

Gauld N.R., R.N.B. Campbell & M.C. Lucas, 2013. Reduced flow impacts salmonid smolt emigration in a river with low-head weirs. *Science of the Total Environment* 458–460 (2013) 435–443.

Geraeds, Marlein, et al. "Riverine plastic litter monitoring using unmanned aerial vehicles (UAVs)." *Remote Sensing* 11.17 (2019): 2045.

Haro, A., M. Odeh, J. Noreika & T. Castro-Santos, 1998. Effect of water acceleration on downstream migratory behavior and passage of Atlantic salmon smolts and juvenile American shad at surface bypasses. *Transactions of the American Fisheries Society* 127: 118–127.

Horton, A.A., Walton, A., Spurgeon, D.J., Lahive, E., Svendsen, C. Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. (2017) *Science of the Total Environment*, 586, pp. 127-141.

Knott J., Nagel C., Geist J., 2021. Wasted effort or promising approach – Does it make sense to build an engineered spawning ground for rheophilic fish in reservoir cascades? *Ecological Engineering*, Volume 173, 2021, 106434, ISSN 0925-8574, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106434>.

Kranenbarg, J. & J. Kemper, 2006. Efficiëntere vismigratie bij vistrappen en kunstwerken. Onderzoek op vismigratie gericht stuwbeheer in de Maas bij Sambeek. WL | Delft Hydraulics. In opdracht van Rijkswaterstaat RIZA. Rapportnummer Q4092.

Noatch, M.R., Suski, C.D. (2012) Non-physical barriers to fish movements. *Environmental Reviews* 20(1): <https://doi.org/10.1139/a2012-001>

Noria i.o.v. RWS. Pilot vangststelsel voor plastic afval bij stuw Borgharen (April, 2020). Link: [Pilot vangststelsel voor plastic afval bij stuw Borgharen - Zwerfafval \(rijkswaterstaat.nl\)](#).

Odeh M., J. F. Noreika, A. Haro, A. Maynard, T. Castro-Santos (U.S. Geological Survey) & G.F. Cada (Oak Ridge National Laboratory), 2002. Evaluation of the effects of turbulence on the behaviour of migratory fish, final report 2002, Report to Bonneville Power Administration, Contract No. 00000022, Project No. 200005700, 55 electronic pages (BPA Report DOE/BP-00000022-1).

Odeh, M. & C. Orvis, 1998. Downstream fish passage design considerations and developments on hydroelectric projects in the north-east USA. - In: Jungwirth, M. et al. (ed.): Fish migration and fish bypasses. – Oxford (Fishing News Books), 67 - 280.

Peters, 2018 De Maasterrassen, perspectieven voor de levensader van Limburg. Visie op ruimtelijke ontwikkeling en hoogwaterveiligheid in het Noord-Limburgse Maasdal. In opdracht van Stichting het Limburgs Landschap, Wereld NatuurFonds, Ark Natuurontwikkeling en Staatsbosbeheer

Peters, B. & A. Klink, 2005. Variabel stuwregime in het stuwpannd Lith en ecologische perspectieven voor de Hemelrijkse Waard. Bureau Drift, Berg en Dal, 37 pp.

Peters, B., Hoendervoogt, R. & A. Klink, 2018. Ecologisch effect- en scenariostudie variabel stuwpeil Bedijkte Maas. Voor de Maas tussen Grave en Lith. In opdracht van Rijkswaterstaat Zuid-Nederland. Bureau Drift, Hydrologisch Adviesburo Klink bv en Lieveense.

Reeze, B., W. Liefveld, J. Postma, H. Barneveld, N. van Kessel, H. van der Jagt, T. Smit, H. Coops & D. Tjabbes - Van der Gaag, 2020. Watersysteemrapportage Maas. Antea Group, s.l. projectnummer 0434242.100. 11 februari 2020.

RWS-ZN, 2021. Potentiele beleidsopties rivierbodemp en sedimenthuishouding Maas ZN (nog geen definitieve versie beschikbaar)

Rijkswaterstaat, 2006a. Tracébesluit Zandmaas/Maasroute – Peilopzetplan

Rijkswaterstaat, 2006b. Tracébesluit Zandmaas/Maasroute - aanvulling I.Achtergronddocument peilopzet Grave

RIVM (2019) Factsheet microplastics in Nederlandse wateren. <https://www.rivm.nl/documenten/factsheet-over-microplastics-in-nederlandse-wateren>. Geraadpleegd 16-1-2019.

RWS 2021, Test in sluis Borgharen met plasticafvalscheprad. <https://zwerfafval.rijkswaterstaat.nl/@235156/pilot-vangstelsystem-plastic-afval-stuw-borgharen/>

RWS en WUR, 2021. Overleg met Tim van Emmerik, Siebren Wezenberg en Bert Bellert over de plastic problematiek in de Maas.

RWS intern 2021. Overleg met Lea Crijns, Bert Bellert en Eric Copius Peereboom op 6-5-2021.

Schwarz AE, Lighthart TN, Boukris E, van Harmelen T. Sources, transport, and accumulation of different types of plastic litter in aquatic environments: A review study. *Mar Pollut Bull.* 2019 Jun;143:92-100. doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.04.029. Epub 2019 Apr 24. PMID: 31789171.

Silva, A.T., C. Katopodis, M.F. Tachie, J.M. Santos & M.T. Ferreira, 2015. Downstream swimming behaviour of catadromous and potadromous fish over spillways. *River Res. Applic.* (2015).

Van der Wal M. et al., 2013. *Plastic litter in de riviers Rhine, Meuse and Scheldt; Contribution to plastic waste in the North Sea Final draft 2013. Deltares in opdracht van Rijkswaterstaat.*

van Aubel P., 2021. Aanwijzingen gemaild over plastic invang mogelijkheden en wat er bekend is.

Van Emmerik (2021). Plastic in the Meuse. International Meuse Symposium 7th edition. Niet vrijgegeven data.

van Emmerik, T., & Schwarz, A. (2020). Plastic debris in rivers. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 7(1), e1398.

van Emmerik, Tim, and Anna Schwarz. "Plastic debris in rivers." *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water* 7.1 (2020): e1398. PDF: <https://doi.org/10.1002/wat2.1398>

van Emmerik, Tim, et al. "A methodology to characterize riverine macroplastic emission into the ocean." *Frontiers in Marine Science* 5 (2018): 372.

Van Rossum M., 2021. Schriftelijke toevoeging in document.

Vriese F.T., Hop J., Reeze B., de la Haye M., van Kessel N., Claus M., van Winden A. Analyse stromend habitat en connectiviteit Maas (2021). In opdracht van Rijkswaterstaat Zuid-Nederland. Opgesteld door adviesbureaus ATKB, Bureau Waardenburg, Bart Reeze Water & Ecologie en Bureau Stroming.

Vriese, F.T., 2017. Vissterfte bij passage van stuwen. ATKB, Waardenburg. Rapportnummer: 20170587/rap01. In opdracht van: Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving.

Werkgroep Meanderende Maas, 2021. Overleg op 21-10-2021 met Graat, Anne-Marie (ZN), Fons Mandigers, Lianne Schröder, Gesthuizen, Roland (ZN), Yvonne Roling, Violier, Tom (PPO), Gijs Kurstjens, Flach, Bert. Onderwerp: IOO 4: restpunten uit eerdere IOO's.